



Pedro Miguel de Jesus Guerreiro

CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL – NOVOS MATERIAIS MAIS EFICIENTES PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil - Perfil de Construção

Orientador: Professor Doutor Miguel Pires Amado

Júri

Presidente: Doutora Maria Teresa Grilo Santana

Arguente: Doutor Manuel Duarte Pinheiro

Vogal: Doutor Miguel Pires Amado



Maio de 2012

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
Faculdade de Ciências e Tecnologia

**Construção Sustentável – Novos Materiais mais
Eficientes para a Conservação de Energia**

Pedro Miguel de Jesus Guerreiro

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade
Nova de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Doutor Miguel Pires Amado

Lisboa 2012

CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL – NOVOS MATERIAIS MAIS EFICIENTES PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

“Copyright” de Pedro Miguel de Jesus Guerreiro, FCT/UNL e UNL

"A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor".

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar o meu agradecimento a várias pessoas que através do seu apoio contribuíram para a realização desta dissertação de mestrado.

Ao Professor Doutor Miguel Pires Amado pela ajuda que me prestou e compreensão demonstrada, para que conseguisse alcançar os objectivos propostos.

A toda a minha família e namorada, por toda a dedicação, preocupação, amizade e paciência demonstrada ao longo de todo o meu percurso académico.

Aos meus amigos, pelo apoio e encorajamento que foram sempre prestando ao longo deste percurso.

RESUMO

O sector dos edifícios é, actualmente, um dos principais responsáveis pelo elevado consumo de energia que se tem verificado. O elevado aumento da população e a necessidade de construção de novos edifícios vai aumentar muito o consumo de energia, com as consequências graves que daí advêm, como a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera e o esgotar de recursos naturais. Este aumento descontrolado obriga a que sejam estudadas e analisadas alternativas de forma a garantir um futuro mais sustentável.

É nesse contexto que a construção sustentável e o contributo dos materiais de construção vem assumir um papel importante, sendo urgente alterar as práticas de construção dos edifícios, de forma a obter uma maior eficiência energética e uma diminuição dos impactos ambientais associados.

A presente dissertação estuda e avalia os novos materiais de construção mais sustentáveis, procurando entender de que forma a alteração das soluções de concepção construtiva utilizando materiais mais eficientes na conservação de energia, pode contribuir para um melhor desempenho energético.

Tendo por base o RCCTE, foi efectuado um estudo do comportamento térmico de uma moradia unifamiliar, usando diferentes soluções construtivas e materiais de construção na sua envolvente, comparando-os entre si.

Através desta dissertação pretende-se realçar a importância da utilização de materiais de construção sustentáveis no aumento da eficiência energética dos edifícios e na diminuição dos impactes ambientais associados

Palavras-chave: Construção Sustentável, Eficiência energética, Impactes ambientais, Conservação de energia, Materiais de Construção

ABSTRACT

The building sector is currently a major contributor to the high energy consumption that has been observed. The high population growth and the need for construction of new buildings will greatly increase energy consumption, with serious consequences that derive therefrom, as the emission of greenhouses gases into atmosphere and deplete natural resources. This uncontrolled increase requires being studied and analyzed alternatives to ensure a more sustainable future.

In this context, the contribution of sustainable construction and building materials is to assume an important role, being urgent to modify the practices of constructing buildings in order to achieve greater energy efficiency and a reduction of associated environmental impacts.

This dissertation examines and evaluates new sustainable building materials, trying to understand how changing the constructive solutions using more efficient materials at conserving energy can contribute to improved energy performance of buildings.

Based on RCCTE, a study was made of the thermal behavior of a single family house, using different constructive solutions and building materials in its surroundings, comparing them with each other.

Through this dissertation aims to highlight the importance of using sustainable building materials to increase the energy efficiency of buildings and reducing the environmental impacts associated.

Keywords: Sustainable construction, Energy efficiency, Environmental impacts, Energy conservation, Building materials

ÍNDICE DE MATÉRIAS

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE MATÉRIAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	XXI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento ao tema	1
1.2. Objectivos.....	4
1.3. Metodologia	4
1.4. Estrutura do trabalho	5
2. ESTADO DE REFERÊNCIA	7
2.1. O sector da construção de edifícios	7
2.1.1. Estatísticas por tipo de edifício	7
2.1.2. Consumo de Energia.....	14
2.2. A Importância da conservação de Energia no sector dos edifícios	27
2.2.1. Isolamento Térmico	28
2.2.2. Controlo de Infiltrações.....	30
2.2.3. Sombreamento.....	31
2.3. Certificação Energética dos edifícios.....	32
2.4. Contributo da construção sustentável	35
2.4.1. Conceito e Princípios	35
2.4.2. Conforto ambiental e critérios de sustentabilidade	38
2.4.3. Análise de ciclo de vida do edifício	41
2.4.4. Sistemas de certificação ambiental do edifício sustentável	44
2.4.5. Benchmarking Ambiental	51
2.4.6. Selecção dos materiais de construção sustentáveis	52
3. NOVOS MATERIAIS EFICIENTES NA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA.....	59
3.1. Conceito	59
3.2. Materiais que contribuem para a redução do consumo de energia.....	59
3.2.1. Isolamentos térmicos naturais	59

3.3.	Outros materiais sustentáveis e o seu contributo para a redução do consumo de Energia.....	67
3.3.1.	Unidades para Alvenarias.....	67
3.3.2.	Revestimentos.....	75
3.3.3.	Novos ligantes alternativos ao cimento	79
3.3.4.	Caixilharia para envidraçados	80
4.	APLICAÇÃO A CASO DE ESTUDO.....	83
4.1.	Objectivo da aplicação	83
4.2.	Metodologia	83
4.3.	Descrição e caracterização do objecto do estudo.....	83
4.4.	Sistema Construtivo	85
4.4.1.	Envolvente Vertical	85
4.4.2.	Envolvente Horizontal	87
4.4.3.	Envidraçados	87
4.5.	Nível de desempenho energético (Aplicação do RCCTE)	87
4.5.1.	Caracterização térmica das soluções construtivas.....	87
4.5.2.	Dados climáticos.....	90
4.5.3.	Identificação das envolventes e levantamento dimensional	91
4.5.4.	Verificação dos requisitos mínimos	92
4.5.5.	Inércia Térmica da moradia.....	92
4.5.6.	Calculo das necessidades de aquecimento (estação de Inverno).....	95
4.5.7.	Calculo das necessidades de arrefecimento (estação de Verão).....	96
4.5.8.	Cálculo das necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias (AQS)	97
4.5.9.	Cálculo das necessidades globais de energia primária	98
4.6.	Proposta de aplicação de soluções alternativas mais sustentáveis.....	99
4.6.1.	Solução alternativa 1.....	99
4.6.2.	Solução alternativa 2.....	100
4.6.3.	Solução alternativa 3.....	102
4.6.4.	Envidraçados das soluções alternativas.....	103
4.6.5.	Aplicação do RCCTE às soluções alternativas.....	104
4.6.6.	Comparação dos resultados	107
4.7.	Análise de custo-benefício das soluções estudadas	108
4.8.	Energia Incorporada das soluções estudadas	109
4.9.	Emissões de Dióxido de Carbono (CO ₂) das soluções estudadas	110

4.10.	Envidraçados – custo-benefício.....	111
5.	CONCLUSÕES.....	113
5.1.	Conclusão	113
5.2.	Desenvolvimentos futuros	115
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
	ANEXOS	123
	Anexo I – Peças Desenhadas	123
	Anexo I.1 - Planta da moradia	123
	Anexo I.2 - Alçado lateral direito e alçado principal	124
	Anexo I.3 - Alçado lateral esquerdo e alçado posterior	125
	Anexo II - Cálculo das necessidades de aquecimento para a solução existente.....	126
	Anexo III - Cálculo do coeficiente de redução de perdas térmicas para locais não aquecidos (τ)	133
	Anexo IV - Cálculo da taxa de renovação horária nominal (R_{ph}).....	135
	Anexo V - Cálculo dos factores solares dos envidraçados	136
	Anexo VI - Cálculo das necessidades de arrefecimento para a solução existente.....	140
	Anexo VII - Cálculo das necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias	145
	Anexo VIII - Cálculo das necessidades globais de energia primária	146
	Anexo IX - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) das soluções alternativas propostas.....	147
	Anexo X - Cálculo dos custos de investimento para as soluções estudadas.....	152
	Anexo XI - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO_2 das soluções em estudo.....	156
	Anexo XII - Cálculo dos custos para os envidraçados (caixilharias + vidros) das soluções estudadas e determinação de valores de energia incorporada e emissão de CO_2 em ambas as soluções	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Mudanças na temperatura, nível do mar e cobertura de neve no Hemisfério Norte [2].....	1
Figura 1.2 - Pilares do desenvolvimento sustentável [7]	3
Figura 1.3 - Evolução da população mundial no último milénio [8].....	4
Figura 1.4 - Estrutura da dissertação	6
Figura 2.1 - Distribuição da área útil do parque edificado europeu por tipo de edifício (adaptado de [9])	7
Figura 2.2 - Distribuição da percentagem de edifícios unifamiliares e blocos de apartamentos na europa (adaptado de [9]).....	7
Figura 2.3 - Intervalo de taxas anuais de novas construções no sector residencial (2005-2010) [9].....	8
Figura 2.4 - Períodos de construção dos edifícios residenciais em vários países europeus (adaptado de [9])	9
Figura 2.5 - Evolução do número de Alojamentos e de Edifícios (1981-2011) (adaptado de [11])	10
Figura 2.6 - Variação do crescimento do número de edifícios entre 2001 e 2011 (adaptado de [11])	10
Figura 2.7 - Número de edifícios clássicos estimados por região para o período 1991-2010 (adaptado de [11])	11
Figura 2.8 - Edifícios concluídos em Portugal para habitação familiar em 2010 (adaptado de [12])	12
Figura 2.9 - Edifícios com mais de 30 anos vs. Edifícios com 30 ou menos anos (adaptado de [11])	12
Figura 2.10 - Percentagem de edifícios por tipo de reparação e por época de construção (adaptado de [10])	13
Figura 2.11 - Reabilitações e novas construções do edificado (1995-2010) [12].....	14
Figura 2.12 - Consumo de energia final na EU27 por sector (2009) - EU27 (adaptado de [13])	15
Figura 2.13 - Consumos de energia final em Portugal por sector (2009) (adaptado de [13])	15
Figura 2.14 - Histórico do consumo de energia final no sector da construção (1990-2009) nos países europeus [9].....	16
Figura 2.15 - Valor de emissões de CO ₂ (KgCO ₂ /m ²) por área útil em alguns países europeus (adaptado de [9])	17
Figura 2.16 - Evolução do consumo de electricidade na EU-27 (1998-2009) [13].....	18
Figura 2.17 - Repartição do consumo de electricidade da EU-27, por sector (2009) (adaptado de [13])	18
Figura 2.18 - Evolução do consumo de electricidade em Portugal (1998-2009) (adaptado de [13])	19

Figura 2.19 - Repartição do consumo de electricidade em Portugal, por sector em 2009 (adaptado de [13])	19
Figura 2.20 - Distribuição dos consumos de energia no sector doméstico na EU-27 (adaptado de [33])	20
Figura 2.21 - Distribuição dos consumos de energia no sector doméstico em Portugal (adaptado de [34])	21
Figura 2.22 – Alojamentos por tipo de lâmpada utilizada – Portugal 2010 (adaptado de [34]).....	22
Figura 2.23 – Alojamentos que utilizam equipamentos na cozinha por tipo de equipamento – Portugal 2010 (adaptado de [34]).....	23
Figura 2.24 – Alojamentos que utilizam grandes electrodomésticos por tipo de equipamento (adaptado de [34])	23
Figura 2.25 - Histórico do consumo de energia final para aquecimento no sector residencial europeu [9]	24
Figura 2.26 – Alojamentos que utilizam equipamentos para aquecimento do ambiente por tipo de equipamento – Portugal 2010 (adaptado de [34])	25
Figura 2.27 – Alojamentos que utilizam equipamentos para aquecimento de águas por tipo de equipamento – Portugal 2010 (adaptado de [34]).....	27
Figura 2.32 - Valores de Coeficiente de transmissão térmico U ($W/(m^2K)$) de paredes exteriores em diferentes países europeus por período de construção [9].....	30
Figura 2.33 - Classes Energéticas e comparação com o consumo de referência (adaptado de [21])	33
Figura 2.34 - Distribuição percentual das habitações existentes certificadas entre Janeiro e Junho de 2009, por classe energética [20]	34
Figura 2.35 - Distribuição percentual das certificações (por classe energética) das habitações construídas a partir de Julho 2007	34
Figura 2.36 - Desafios e Acções – Agenda 21 para a construção sustentável [8]	36
Figura 2.37 - Evolução das preocupações no sector da construção civil [8]	37
Figura 2.38 - Ciclo de vida do processo de construção sustentável [41]	42
Figura 2.39 - Ponderação das categorias no sistema BREEAM (EcoHomes) (adaptado de [8])	46
Figura 2.40 - Ponderação das categorias no sistema LEED (adaptado de [8])	47
Figura 2.41 - Ponderação por vertentes do sistema LiderA (versão 2.0) (adaptado de [44])	49
Figura 2.42 - Ponderação em % para as 22 áreas do sistema LiderA (versão 2.0) (adaptado de [44])	49
Figura 2.43 - Níveis de desempenho global – sistema LiderA [44]	50
Figura 2.44 - Ciclo de vida dos materiais e consumos de energia associados [16]	55
Figura 3.1 - Área de floresta mundial e produção de cortiça (adaptado de [53])	61
Figura 3.2 - Energia incorporada dos diferentes isolamentos térmicos.....	67
Figura 3.3 - Emissões de CO_2 dos diferentes isolamentos térmicos	67

Figura 3.4 - Tijolos cBloco	69
Figura 3.5 - Parede com blocos de betão celular autoclavado (AAC)	71
Figura 3.6 - Condutibilidade térmica dos diferentes tipos de unidades de alvenaria	73
Figura 3.7 - Energia incorporada dos diferentes tipos de unidades de alvenaria	74
Figura 3.8 - Emissões de CO ₂ dos diferentes tipos de unidades de alvenaria	74
Figura 3.9 - Massa volúmica dos diferentes tipos de unidades de alvenaria	75
Figura 3.10 - Comparação entre argamassa de cimento e argamassa de cal	76
Figura 3.11 - Energia incorporada dos diferentes materiais usados para fabrico de caixilharias [65]	81
Figura 3.12 - Emissões de CO ₂ dos diferentes materiais usados para fabrico de caixilharias [65]	82
Figura 4.1 - Localização da moradia em estudo	83
Figura 4.2 - Planta da moradia	84
Figura 4.3 - Planta do desvão não útil	84
Figura 4.4 - Pormenor construtivo de parede exterior da solução existente	85
Figura 4.5 - Pormenor construtivo de zona de ponte térmica plana (pilar ou talão de viga) da solução existente	86
Figura 4.6 - Pormenor construtivo de parede interior de compartimentação da solução existente	86
Figura 4.7 - Pormenor construtivo de cobertura em contacto com desvão não ventilado da solução existente	87
Figura 4.8 - Dados climáticos do concelho de Sousel (Quadro III.1 do RCCTE)	90
Figura 4.9 - Definição das envolventes da moradia em estudo	91
Figura 4.10 - Distribuição das necessidades de energia da moradia em estudo (solução existente)	98
Figura 4.11 - Pormenor construtivo de parede exterior proposta na solução 1	99
Figura 4.12 - Pormenor construtivo de zona ponte térmica plana (pilar ou talão de viga) proposta na solução 1	100
Figura 4.13 - Pormenor construtivo de parede exterior proposta na solução 2	101
Figura 4.14 - Pormenor construtivo de zona de ponte térmica plana (pilar ou talão de viga) proposta na solução 2	101
Figura 4.15 - Pormenor construtivo de parede exterior proposta na solução 3	102
Figura 4.16 - Pormenor construtivo de zona de ponte térmica plana (pilar ou talão de viga) proposta na solução 3	103
Figura 4.17 - Comparação entre os coeficientes de transmissão térmica das diversas soluções de parede exterior	104
Figura 4.18 - Comparação entre os coeficientes de transmissão térmica das diversas soluções na zona de PTP	105
Figura 4.19 - Comparação entre os coeficientes de transmissão térmica das diversas soluções de cobertura	105

Figura 4.20 - Necessidades totais de climatização das diversas soluções estudadas	107
Figura 4.21 - Valores totais das soluções estudadas (€).....	108
Figura 4.22 - Energia incorporada das soluções estudadas.....	109
Figura 4.23 - Emissões totais de CO ₂ das soluções estudadas	110
Figura 4.24 - Energia incorporada total nas soluções de envidraçados estudadas	112
Figura 4.25 - Emissões totais de CO ₂ nas soluções de envidraçados estudadas.....	112
Figura III.1 - Espaço não aquecido 1 (despensa).....	133
Figura III.2 - Espaço não aquecido 2 (desvão não ventilado)....	134
Figura V.1 - Envidraçados existentes na moradia em estudo e sua localização.....	137

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Fases e medidas de intervenção do processo de construção sustentável (adaptado de [41])	43
Tabela 2.2 - Níveis de certificação do sistema BREEAM (EcoHomes)	46
Tabela 2.3 - Níveis de certificação do sistema LEED	48
Tabela 2.4 - Critérios de Selecção de materiais por fase (adaptado de [32])	53
Tabela 3.1 - Propriedades do isolamento em cânhamo da marca Thermo-Hemp [60]	60
Tabela 3.2 - Propriedades do aglomerado de cortiça expandida da marca Isocor [52]	62
Tabela 3.3 - Propriedades do isolamento à base de fibras de madeira da marca SteicoFlex [62]	63
Tabela 3.4 - Propriedades da argila expandida da marca Argex 3-8 [62]	63
Tabela 3.5 - Propriedades do isolamento à base de celulose da marca Isofloc [63]	64
Tabela 3.6 - Propriedades do isolamento à base de vidro celular da marca Foamglas [64]	65
Tabela 3.7 - Comparação de diversos parâmetros relativos aos diferentes isolamentos térmicos [1], [65], [66]	66
Tabela 3.8 - Propriedades dos tijolos cerâmicos tradicionais correntemente utilizados	68
Tabela 3.9 - Propriedades dos tijolos térmicos da marca Preceram [67]	69
Tabela 3.10 - Propriedades dos tijolos cBloco	70
Tabela 3.11 - Propriedades dos blocos de solo-cimento da marca EnviroMasonry [68]	70
Tabela 3.12 - Propriedades dos blocos de betão celular autoclavado da marca Ytong [69]	71
Tabela 3.13 - Comparativo entre os diferentes tipos de unidades de alvenaria [1], [65], [66] ..	73
Tabela 3.14 - Propriedades das placas de gesso laminado	77
Tabela 3.15 - Propriedades da cortiça natural projectada em emulsão da marca Corkwall [71] ..	77
Tabela 4.1 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes exteriores da solução existente	88
Tabela 4.2 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes em contacto com zona não aquecida da solução existente	88
Tabela 4.3 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico da zona de PTP da solução existente	89
Tabela 4.4 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico da cobertura em contacto com desvão não ventilado da solução existente	89
Tabela 4.5 - Valores dos coeficientes de transmissão térmica das soluções construtivas da solução existente	89
Tabela 4.6 - Dados climáticos da moradia em estudo	90
Tabela 4.7 - Levantamento dimensional	97
Tabela 4.8 - Requisitos mínimos do coeficiente de transmissão térmica	97
Tabela 4.9 - Requisitos mínimos dos envidraçados	98

Tabela 4.10 - Cálculo do Msi para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução existente	93
Tabela 4.11 - Cálculo do Msi para as zonas de PTP da solução existente.....	94
Tabela 4.12 - Cálculo do Msi para a laje em contacto com desvão não ventilado da solução existente	94
Tabela 4.13 - Cálculo do Msi para as paredes interiores de compartimentação da solução existente	94
Tabela 4.14 - Cálculo do Msi para o pavimento da solução existente.....	94
Tabela 4.15 - Cálculo da classe de inércia do edifício para a solução existente	95
Tabela 4.16 - Necessidades de aquecimento para a solução existente.....	96
Tabela 4.17 - Necessidades de arrefecimento para a solução existente.....	97
Tabela 4.18 - Necessidades de energia para preparação de água quente sanitária.....	97
Tabela 4.19 - Necessidades globais de energia primária.....	98
Tabela 4.20 - Coeficientes de transmissão térmica das soluções alternativas propostas.....	104
Tabela 4.21 - Inércia Térmica das diferentes soluções alternativas.....	106
Tabela 4.22 - Necessidades de aquecimento (Inverno) das diversas soluções alternativas...	106
Tabela 4.23 - Necessidades de arrefecimento (Verão) das diversas soluções alternativas....	106
Tabela 4.24 - Custos das soluções estudadas.....	108
Tabela 4.25 - Análise de período de retorno do investimento.....	109
Tabela 4.26 - Energia Incorporada das soluções estudadas.....	109
Tabela 4.27 - Emissões de Dióxido de Carbono para a atmosfera das soluções estudadas..	110
Tabela 4.28 - Custos dos vidros para as soluções existente e alternativas.....	111
Tabela 4.29 - Custos dos envidraçados (caixilharia + vidros) utilizados nas soluções.....	111
Tabela 5.1 - Quadro resumo dos principais resultados obtidos com a análise do caso de estudo.....	114
Tabela II.1 - Cálculo das perdas associadas à envolvente exterior - Paredes exteriores (solução existente).....	126
Tabela II.2 – Cálculo das perdas associadas à envolvente exterior – Pontes Térmicas Lineares (solução existente).....	126
Tabela II.3 – Cálculo das perdas associadas à envolvente interior – Paredes em contacto com espaços não úteis (solução existente).....	127
Tabela II.4 - Cálculo das perdas associadas à envolvente interior – Coberturas Interiores (solução existente).....	127
Tabela II.5 – Cálculo das perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores.....	127
Tabela II.6 – Cálculo das perdas associadas à renovação de ar (solução existente).....	128
Tabela II.7 – Cálculo dos ganhos solares brutos na estação de aquecimento - Inverno (solução existente).....	129
Tabela II.8 – Cálculo dos ganhos internos brutos na estação de aquecimento - Inverno (solução existente).....	129

Tabela II.9 - Cálculo dos ganhos úteis totais na estação de aquecimento - Inverno (solução existente).....	130
Tabela II.10 – Cálculo do valor máximo das necessidades de Aquecimento N_i	131
Tabela II.11 – Cálculo do valor das necessidades de Aquecimento N_{ic}	132
Tabela III.1 - Cálculo do coeficiente de redução de perdas térmicas para local não aquecido 1 (despensa).....	133
Tabela III.2 - Cálculo do coeficiente de redução de perdas térmicas para local não aquecido 2 (desvão não ventilado).....	134
Tabela IV.1 – Dados com características do edifício e sua localização necessários para o cálculo da R_{ph}	135
Tabela V.1 – Cálculo dos factores solares dos envidraçados – Estação de Aquecimento (Inverno).....	137
Tabela V.2 - Cálculo dos factores solares dos envidraçados – Estação de Arrefecimento (Verão).....	139
Tabela VI.1 - Cálculo das perdas térmicas totais (solução existente).....	140
Tabela VI.2 - Cálculo dos ganhos solares pela envolvente opaca exterior (solução existente).....	141
Tabela VI.3 - Cálculo dos ganhos solares pelos envidraçados exteriores (solução existente).....	142
Tabela VI.4 - Cálculo dos ganhos internos totais (solução existente).....	143
Tabela VI.5 - Cálculo dos ganhos térmicos totais na estação de aquecimento – Verão (solução existente).....	143
Tabela VI.6 - Cálculo do valor das necessidades nominais de arrefecimento N_{vc} (solução existente).....	144
Tabela VII.1 - Cálculo das necessidades de energia para preparação de AQS.....	145
Tabela VIII.1 - Cálculo das necessidades globais de energia primária (solução existente)....	146
Tabela IX.1 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes exteriores da solução alternativa 1.....	147
Tabela IX.2 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes em contacto com zona não aquecida (despensa) da solução alternativa 1.....	147
Tabela IX.3 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico da zona de PTP da solução alternativa 1.....	148
Tabela IX.4 - Cálculo do coeficiente de transmissão da laje em contacto com zona não aquecida (desvão não ventilado) da solução alternativa 1.....	148
Tabela IX.5 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes exteriores da solução alternativa 2.....	148
Tabela IX.6 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes em contacto com zona não aquecida (despensa) da solução alternativa 2.....	149
Tabela IX.7 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico da zona de PTP da solução alternativa 2.....	149

Tabela IX.8 - Cálculo do coeficiente de transmissão da laje em contacto com zona não aquecida (desvão não ventilado) da solução alternativa 2.....	149
Tabela IX.9 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes exteriores da solução alternativa 3.....	150
Tabela IX.10 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes em contacto com zona não aquecida (despensa) da solução alternativa 3.....	150
Tabela IX.11 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico da zona de PTP da solução alternativa 3.....	151
Tabela IX.12 - Cálculo do coeficiente de transmissão da laje em contacto com zona não aquecida (desvão não ventilado) da solução alternativa 3.....	151
Tabela X.1 – Cálculo do custo de investimento para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução existente.....	152
Tabela X.2 - Cálculo do custo de investimento para a zona de PTP da solução existente.....	152
Tabela X.3 - Cálculo do custo de investimento para a cobertura em contacto com zona não aquecida da solução existente.....	153
Tabela X.4 - Cálculo do custo de investimento para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução 1.....	153
Tabela X.5 - Cálculo do custo de investimento para a zona de PTP da solução 1.....	153
Tabela X.6 - Cálculo do custo de investimento para a cobertura em contacto com zona não aquecida da solução 1.....	153
Tabela X.7 - Cálculo do custo de investimento para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução 2.....	154
Tabela X.8 - Cálculo do custo de investimento para a zona de PTP da solução	154
Tabela X.9 - Cálculo do custo de investimento para a cobertura em contacto com zona não aquecida da solução 2.....	154
Tabela X.10 - Cálculo do custo de investimento para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução 3.....	155
Tabela X.11 - Cálculo do custo de investimento para a zona de PTP da solução 3.....	155
Tabela X.12 - Cálculo do custo de investimento para a cobertura em contacto com zona não aquecida da solução 3.....	155
Tabela XI.1 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO2 para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução existente.....	156
Tabela XI.2 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO2 para a zona de PTP da solução existente.....	156
Tabela XI.3 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO2 para a zona de cobertura da solução existente.....	156
Tabela XI.4 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO2 para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução 1.....	157
Tabela XI.5 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO2 para a zona	

de PTP da solução 1.....	157
Tabela XI.6 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO ₂ para a zona de cobertura da solução 1.....	157
Tabela XI.7 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO ₂ para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução 2.....	158
Tabela XI.8 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO ₂ para a zona de PTP da solução 2.....	158
Tabela XI.9 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO ₂ para a zona de cobertura da solução 2.....	158
Tabela XI.10 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO ₂ para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução 3.....	159
Tabela XI.11 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO ₂ para a zona de PTP da solução 3.....	159
Tabela XI.12 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO ₂ para a zona de cobertura da solução 3.....	159
Tabela XII.1 – Cálculo dos custos para as caixilharias.....	160
Tabela XII.2 – Cálculo dos custos para os vidros (solução existente).....	160
Tabela XII.3 - Cálculo dos custos para os vidros (soluções alternativas).....	160
Tabela XII.4 – Valores de energia incorporada e emissões de CO ₂ para os dois tipos de materiais usados nas caixilharias.....	161
Tabela XII.5 – Cálculo dos valores de energia incorporada e emissões de CO ₂ para as duas soluções (existente e alternativas).....	161

ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ACV – Análise do Ciclo de Vida

ADENE – Agência para a energia

AQS – Águas Quentes Sanitárias

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BRE – Building Research Establishment

BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method

CIAM – Congresso Internacional de Arquitectura Moderna

CIB – International Council for Building

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

CFC – Clorofluorcarbonetos

EEA – European Environment Agency

EIA – Estudos de Impacte Ambiental

EPS – Poliestireno Expandido Moldado

g_{\perp} – Factor solar dos vãos envidraçados

GBC – Green Building Challenge

GEE – Gases com Efeito de Estufa

HCFC – Hidroclorofluorcarbonetos

ICB – Aglomerado de Cortiça Expandida

IES – Institute for Environment and Sustainability

IPA – Inovação e projectos em ambiente

iiSBE – International Initiative for Sustainable Built Environmental

LCA – Life Cycle Assessment

LEED – Leadership in Energy & Environmental Design do United States Green Building Council

LiderA – Sistema voluntário para Avaliação da Construção Sustentável

Nac – Necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias

Nic – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

Ntc – Necessidades globais de energia primária

Nvc – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

NOx – Óxido de Azoto

PEC – Primary Energy Consumption

PIR – Polisocianurato

PUR - Poliuretano

PTP – Ponte Térmica Plana

PVC – Policloreto de Vinilo

QUERCUS – Associação Ambiental de Conservação da Natureza

Rph – Taxa de renovação de ar

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SBC – Sustainable Building Challenge

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar nos Edifícios

SETAC – Society for Environmental Toxicology and Chemistry

SO₂ – Dióxido de Enxofre

U – Coeficiente de transmissão térmico superficial

EU – União Europeia

USGBC – United States Green Building Council

XPS – Poliestireno Extrudido Moldado

ψ – Coeficiente de transmissão térmico linear

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento ao tema

O maior problema com que se depara actualmente o planeta terra está relacionado com o aumento da temperatura média do ar, que por sua vez está directamente relacionado com a concentração de CO₂ presente na atmosfera. No início do Século XVIII, o nível de concentração de CO₂ na atmosfera era de 280 ppm, tendo até esta data evoluído para cerca de 430 ppm, aumentando a um ritmo superior a 2 ppm por ano. Tendo em conta o grande crescimento económico dos países menos desenvolvidos, prevê-se que no ano de 2050 esses valores se encontrem já acima 550 ppm. Esta constante subida da temperatura do ar terá como causa imediata a subida do nível do mar provocada pela dilatação térmica da água [1]. Segundo o relatório da IPCC, esta provável subida do nível do mar poderá vir a provocar qualquer coisa como 200 milhões de refugiados [2].

O aquecimento está também a provocar o degelo acentuado. No Hemisfério Norte, a média das temperaturas durante a segunda metade do século XX foram mais elevadas que em qualquer outro período de 50 anos nos últimos 500 anos [2].

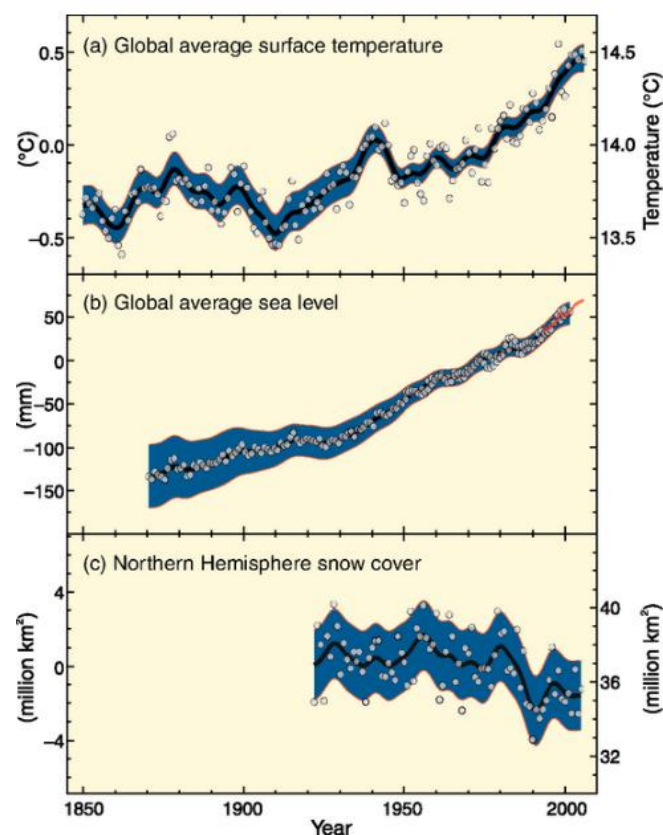


Figura 1.1 - Mudanças na temperatura, nível do mar e cobertura de neve no Hemisfério Norte [2]

O resultado de todas estas alterações climáticas e dos ecossistemas é um planeta poluído até ao limite e que enfrenta um desafio ambiental cuja falta de resolução ou adiamento pode vir a ditar o fim da civilização tal como a conhecemos.

As preocupações ambientais da sociedade actual começaram a ganhar maior relevo após a realização em 1972 da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente em Estocolmo [3].

No seguimento desta conferência surge, em 1987 o Relatório de Brundtland, também conhecido por “Our Common Future”, elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. Neste documento define-se pela primeira vez a expressão de desenvolvimento sustentável como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades actuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazerem as suas próprias necessidades”. O objectivo desta definição seria a procura de um equilíbrio entre o desenvolvimento e a exploração dos recursos de forma a não prejudicar nem o ambiente nem as futuras gerações. Apesar de esta definição ser considerada bastante vaga, conseguiu passar a mensagem que seria necessário um esforço comum a nível global para que o rumo dos acontecimentos fosse alterado [4].

O Relatório de Brundtland serviu de base à Cimeira da Terra, também conhecida como ECO 92, que se realizou no Rio de Janeiro. No decurso dos trabalhos foi elaborado um documento de Acção fundamental denominado por “Agenda 21”, celebrado por um conjunto de 176 países onde foi selado o conceito de sustentabilidade e foi implementada uma política comunitária, de forma a obter um mundo ecologicamente responsável e equilibrado. Este documento consistia numa proposta de estratégia destinada a subsidiar um planeamento estratégico e que deveria ser adaptado no espaço e no tempo às características peculiares de cada país. A “Agenda 21” tem então como objectivos promover a regeneração ambiental e o desenvolvimento social, sendo um plano de acção para ser assumido a nível global e local [5].

Na sequência dos compromissos assumidos por Portugal no âmbito da Agenda 21, foi elaborado em 2002 um documento intitulado Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável. Este documento consiste num conjunto coordenado de actuações nas dimensões Económica, Social e Ambiental, permitindo “assegurar um crescimento económico célere e vigoroso, uma maior coesão social e um elevado e crescente nível de protecção e valorização do ambiente” [3], [6].

O desenvolvimento sustentável apresenta então 3 grandes dimensões: a dimensão económica, a dimensão social e ambiental. A disparidade na maneira como cada uma delas tem sido encarada pelo homem, coloca em grande risco a sobrevivência das gerações futuras [7].



Figura 1.2 - Pilares do desenvolvimento sustentável [7]

A indústria da construção constitui um dos maiores e mais activos sectores em toda a Europa, representando 28,1% e 7,5% do emprego, respectivamente na indústria e em toda a economia europeia [1].

Em termos ambientais, esta indústria é responsável por 30% das emissões de carbono, sendo que o parque edificado consome 42% da energia. Além disso a nível mundial a indústria da construção consome mais matérias-primas (aproximadamente 3000 Mt/ano) que qualquer outra actividade económica [1]. Segundo a Quercus - Associação Nacional de Conservação da Natureza – estima-se que na União Europeia aproximadamente 50% de todos os recursos extraídos da superfície da Terra sejam aplicados na construção civil.

As Nações Unidas indicaram este ano que a população mundial atingiu os 7 mil milhões de habitantes e estimam que em 2050 a população será de 9,3 mil milhões de pessoas e de 10,1 mil milhões no final deste século. Este grande aumento da população e as necessidades implícitas em termos de construção de edifícios e infra-estruturas vai aumentar ainda mais o consumo de matérias-primas não renováveis, assim como a produção de resíduos.

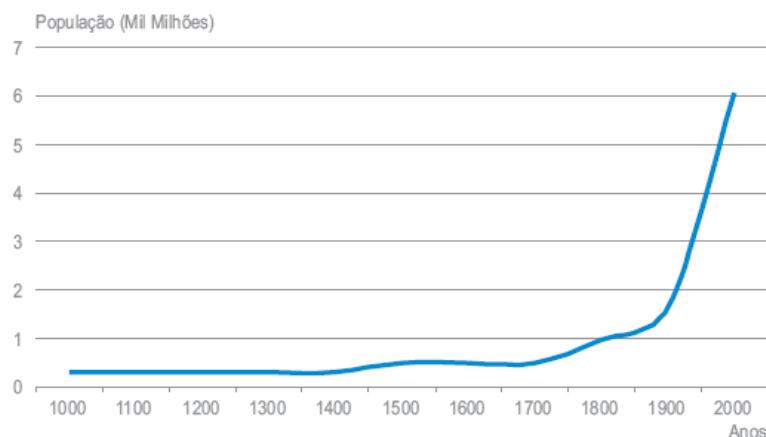


Figura 1.3 - Evolução da população mundial no último milénio [8]

A sustentabilidade da indústria da construção de edifícios e em particular das materiais de construção utilizados e sua responsabilidade nos elevados consumos de energia, assume assim um papel muito importante que importa aprofundar e divulgar.

1.2. Objectivos

A presente dissertação tem como objectivo procurar avaliar o contributo que os novos materiais mais eficientes para a conservação de energia, podem dar para o sector da construção dos edifícios, de forma a alcançar uma redução no consumo de energia, e assim contribuir para um sector mais sustentável.

A emergência de novos materiais cada vez com melhor desempenho energético e aplicáveis ao sector da construção permite que se equacione se a sua introdução em soluções de projecto resultará em grandes vantagens em termos de sustentabilidade dos edifícios.

Este assunto tem muita relevância em face dos pressupostos que o crescimento demográfico previsto irá colocar á necessidade de construção de novas habitações por todo o planeta.

1.3. Metodologia

O trabalho de investigação realizado foi baseado numa pesquisa bibliográfica, incluindo a consulta de diversos livros, trabalhos, artigos científicos, estudos de investigação e outras fontes disponíveis na Internet, garantindo sempre a sua fiabilidade e a credibilidade da informação obtida.

1.4. Estrutura do trabalho

Capítulo 1 – Introdução

Pretende-se fazer uma primeira abordagem ao trabalho com um pequeno enquadramento à problemática do tema. São definidos também os objectivos, a metodologia adoptada e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – Estado de referência

Neste capítulo é efectuada uma abordagem teórica aos pontos mais relevantes do trabalho, estando dividido em 3 pontos:

Ponto 2.1 – Sector da construção de edifícios

Neste ponto é feito um resumo acerca do sector da construção na Europa e em Portugal. São apresentadas estatísticas por tipo de edifício existente em ambos os parques habitacionais, analisados os valores dos consumos de energia e água no sector, sendo também efectuada uma análise à produção de resíduos de construção e demolição.

Ponto 2.2 – A importância da conservação de energia no sector dos edifícios

Neste ponto é analisada a importância da conservação de energia no sector dos edifícios, fazendo-se referência a medidas de conservação de energia, mais propriamente a aplicação de Isolamento térmico, ao controlo das infiltrações e ao sombreamento nos edifícios.

Ponto 2.3 – Certificação energética dos edifícios

Neste ponto aborda-se a certificação energética dos edifícios, fazendo referências ao RCCTE, RSECE e estatísticas das certificações já efectuadas desde a aplicação dos mesmos.

Ponto 2.4 – Contributo da construção sustentável

Por último, é efectuada uma abordagem ao contributo da construção sustentável, sendo apresentados o conceito e os princípios da construção sustentável. Aborda-se o conforto ambiental e a análise do ciclo de vida dos edifícios (processo operativo e desconstrução), sendo também feita uma breve referência ao benchmarking ambiental. Por fim analisam-se os critérios de selecção dos materiais de construção sustentáveis.

Capítulo 3 – Novos materiais eficientes para a conservação de energia

No capítulo 3 é feito um estudo dos materiais de construção eficientes na conservação de energia, onde são referidas algumas características de cada material, relevantes do ponto de vista energético e sustentável. É efectuada uma comparação desses materiais com os materiais correntemente utilizados, apresentando as vantagens e desvantagens.

Capítulo 4 – Caso de estudo

Neste capítulo é efectuada a avaliação do caso de estudo. Apresentam-se as descrições da solução construtiva existente e propõem-se soluções alternativas á base de materiais sustentáveis e mais eficientes do ponto de vista energético. É efectuada uma comparação entre as soluções, dos consumos de energia para climatização (usando o RCCTE), das emissões de dióxido de carbono, energia incorporada e custos de cada solução.

Capítulo 5 – Conclusões e Desenvolvimentos futuros

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões obtidas no decorrer da dissertação e introduzem-se algumas recomendações para futuras investigações que complementem este trabalho.

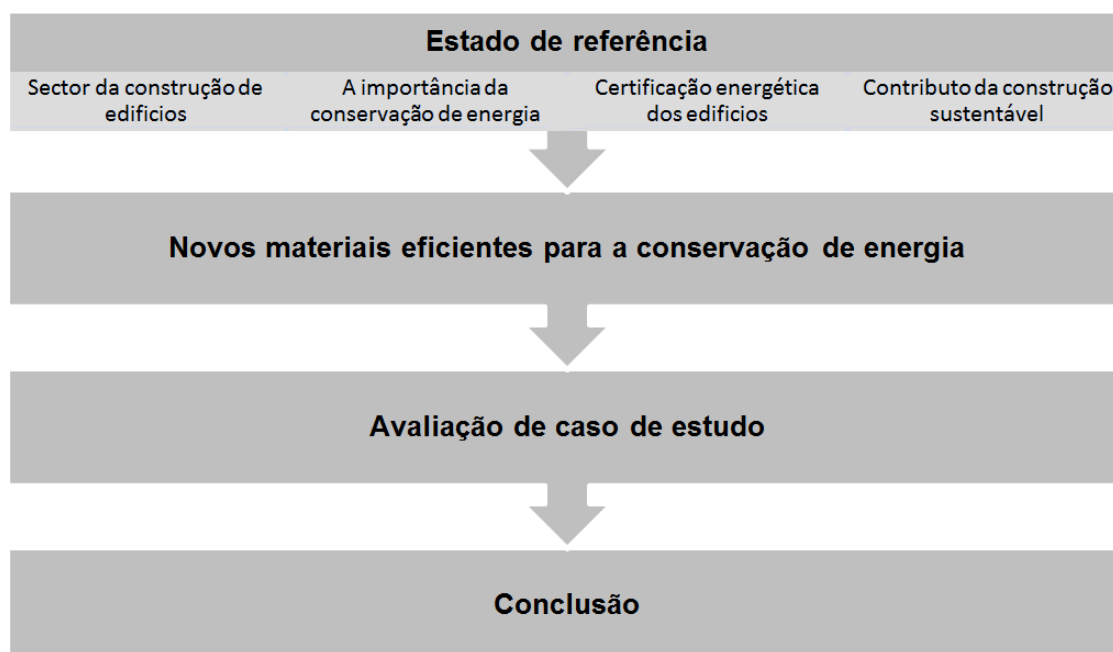


Figura 1.4 - Estrutura da dissertação

2. ESTADO DE REFERÊNCIA

2.1. O sector da construção de edifícios

2.1.1. Estatísticas por tipo de edifício

2.1.1.1. *Parque habitacional Europeu*

Na Europa, edifícios residenciais são o maior segmento do parque edificado, constituindo cerca de 75% do mesmo. Dentro do segmento dos edifícios residenciais existem cerca de 64% de edifícios unifamiliares, enquanto os restantes 36% são respeitantes a blocos de apartamentos (ver figura 2.1) [9].

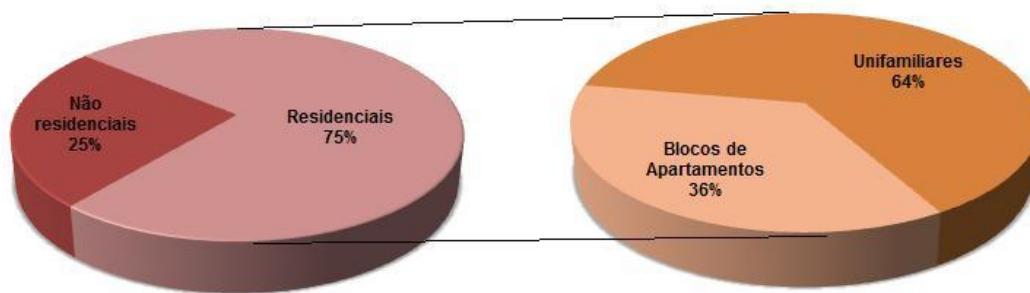


Figura 2.1 - Distribuição da área útil do parque edificado europeu por tipo de edifício (adaptado de [9])

A divisão entre os dois principais tipos de edifícios residenciais varia significativamente de país para país, como se pode ver na figura 2.2. Em países como a Grécia, Irlanda, Noruega e Reino Unido existe uma menor proporção de área útil dos blocos de apartamentos, enquanto em países como a Estónia, Letónia ou a Espanha se passa exactamente o contrário [9].

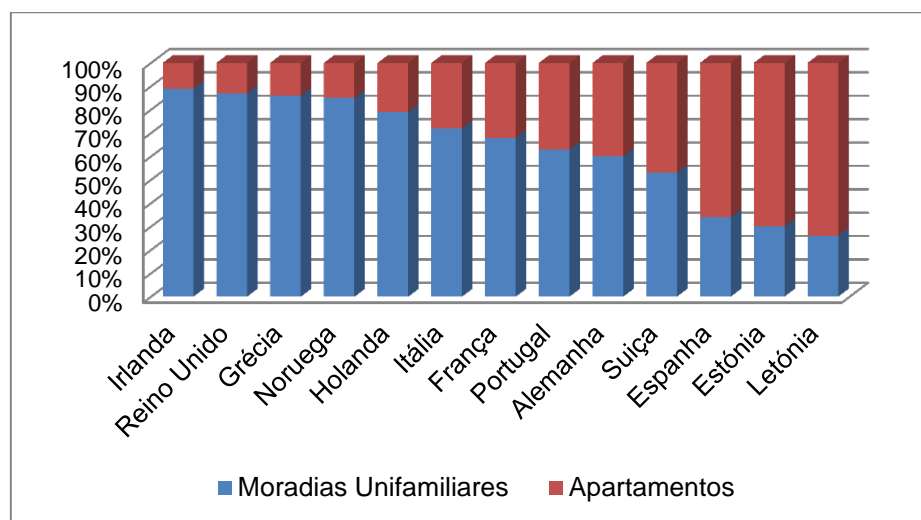


Figura 2.2 - Distribuição da percentagem de edifícios unifamiliares e blocos de apartamentos na europa (adaptado de [9])

Em termos de crescimento do sector residencial, as taxas anuais são cerca de 1% (ver figura 2.3). Excepcionando os Países Baixos (edifícios multifamiliares NL^{MF}), todos os outros países experimentam uma diminuição na taxa de novas construções nos últimos anos, reflectindo o impacto da actual crise financeira no sector da construção. Este impacto é mais pronunciado nos países da Europa Central e Oriental, como é o caso da Letónia (LV), Roménia (RO) e Polónia (PL) [9].

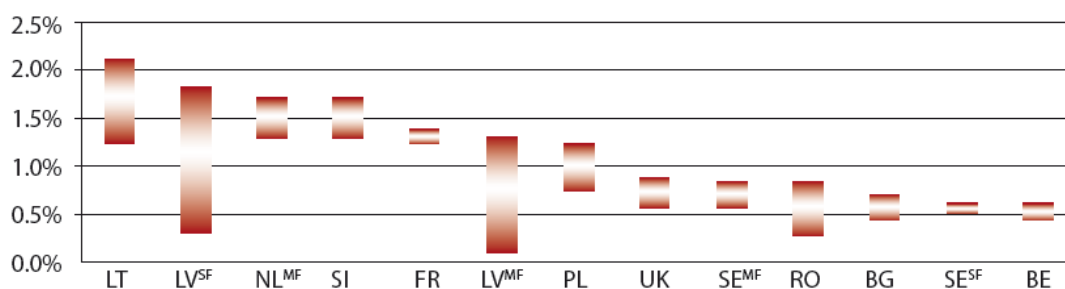


Figura 2.3 - Intervalo de taxas anuais de novas construções no sector residencial (2005-2010)
[9]

Em termos de espaço per capita, os países de centro e do leste estão entre os países com menor valor, enquanto os países do Norte e Oeste têm as maiores áreas de piso residencial per capita.

Os países do Sul são os que apresentam maior espaço per capita relativamente aos edifícios unifamiliares (50m²), o que pode indicar a existência de muitas casas de férias nesses países.

Importante referir também que em todas as regiões, o valor de espaço per capita é sempre inferior em blocos de apartamentos do que em edifícios unifamiliares, o que pode indiciar e reforçar a ligação entre o espaço e as condições de riqueza [9].

Os edifícios em toda a Europa estão associados a diferentes períodos de tempo. As técnicas e normas de construção utilizadas em cada período específico têm grande influência no desempenho energético de um edifício. No sector residencial, a idade de um edifício é susceptível de ser fortemente ligada ao nível de utilização de energia, principalmente para aqueles que não tenham sofrido uma renovação de forma a melhorar o seu desempenho energético.

A figura seguinte mostra o período de construção dos edifícios em alguns dos países europeu. De realçar que os edifícios mais antigos (anteriores a 1960) têm a maior parte na região Norte da Europa. Em particular, os países com as maiores percentagens de edifícios mais antigos são o Reino Unido, a Dinamarca, Suécia, França, República Checa e Bulgária. É também evidente que todos os países experimentaram um grande crescimento em construção

no período compreendido entre 1961 e 1990 e com algumas exceções, o parque habitacional quase que dobrou nesse período. Os países com maior índice de construção neste período são a Estónia, a Hungria, a Letónia e a Finlândia. Em relação aos edifícios construídos depois de 1991, os países que maiores percentagens detêm nessas áreas são a Irlanda, a Espanha, a Polónia e a Finlândia [9].

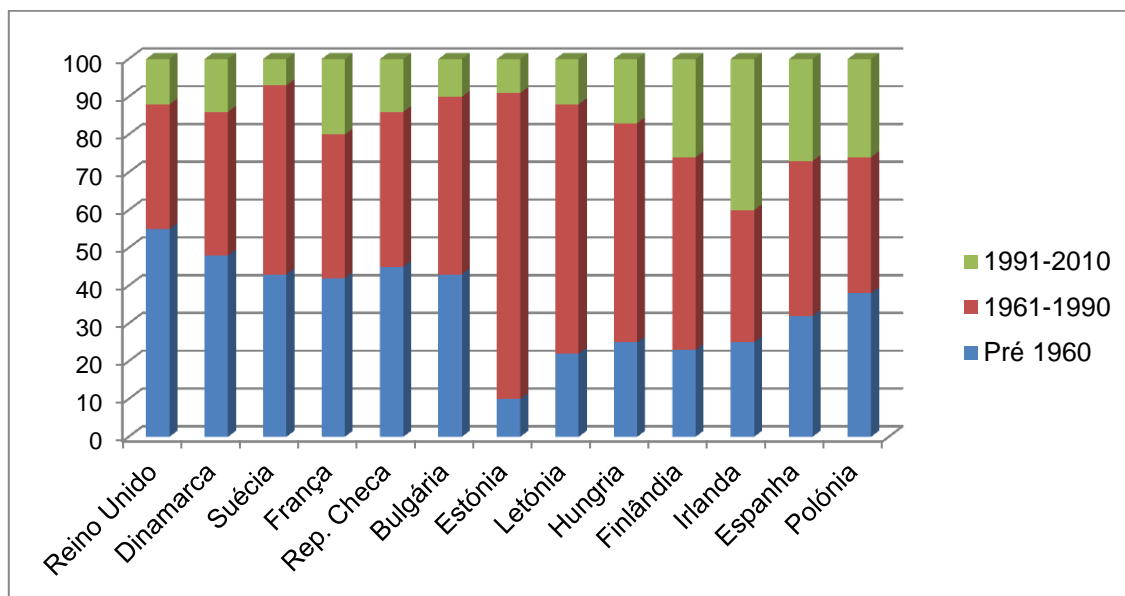


Figura 2.4 - Períodos de construção dos edifícios residenciais em vários países europeus (adaptado de [9])

2.1.1.2. Parque habitacional em Portugal

A análise sobre o parque edificado em Portugal é restringida ao stock existente de edifícios de habitação, uma vez que não existe um levantamento estatístico dos edifícios não-residenciais construídos no País [10].

De acordo com os resultados preliminares dos Censos 2011 temos em Portugal cerca de 3,55 milhões de edifícios e 5,88 milhões de alojamentos. O número de alojamentos e de edifícios cresceu 12,4% e 16,3% respectivamente, relativamente ao último recenseamento realizado em 2001. Este crescimento significa que na última década, o território nacional tem mais 390 780 edifícios destinados à habitação. O número de edifícios cresceu mais do que na década anterior (+9,6%), mas ainda assim menos do que o verificado na década de 80 em que se registou um crescimento de 15%. O número médio de alojamentos por edifício tem vindo a crescer: 1,37 em 1981, 1,46 em 1991, 1,60 em 2001 e 1,66 em 2011, o que denota que a construção de habitação se faz cada vez mais em altura [11].

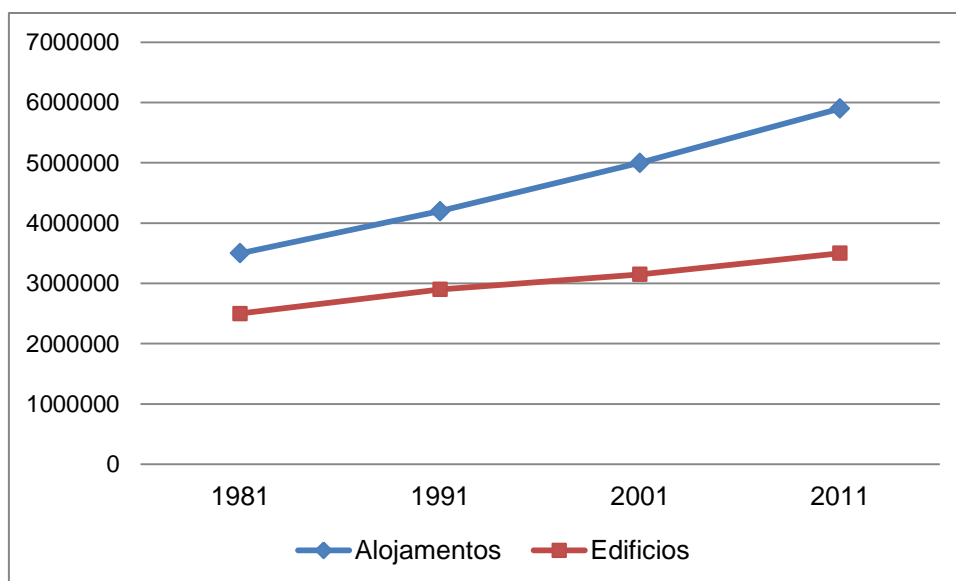


Figura 2.5 - Evolução do número de Alojamentos e de Edifícios (1981-2011) (adaptado de [11])

O número de edifícios cresceu em todas as regiões, sendo o Algarve a região que mais se destaca, com uma variação de 24,9% relativamente a 2001. A Madeira apresenta um crescimento de cerca de 23% e as restantes regiões apresentam todas, crescimentos iguais ou superiores a 10% [11].

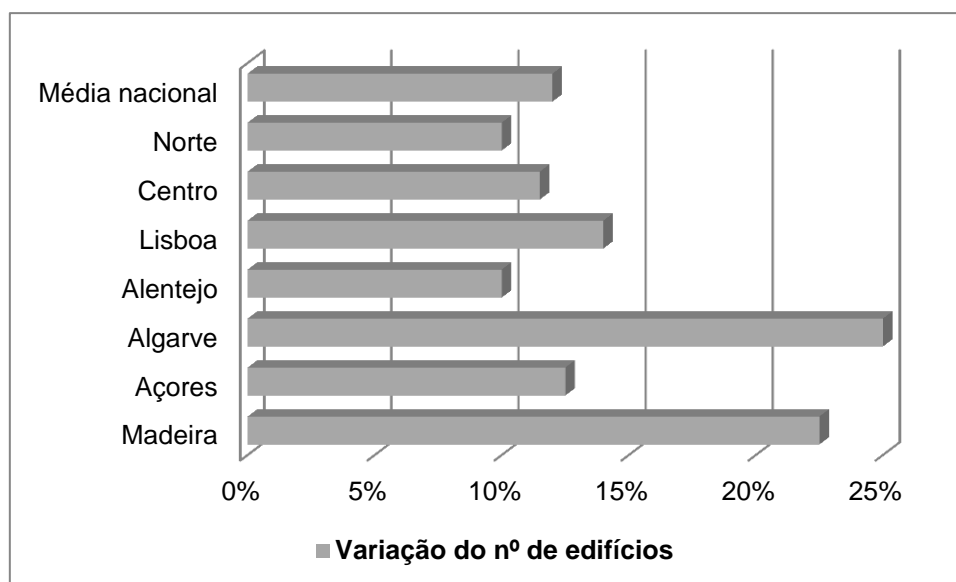


Figura 2.6 - Variação do crescimento do número de edifícios entre 2001 e 2011 (adaptado de [11])

Em termos de número de edifícios, a região Norte é dominante: 35% do parque habitacional existente no país situa-se nesta região. O Centro representa 31% do total de edifícios, enquanto à região de Lisboa corresponde uma proporção de cerca de 12%. As restantes regiões representam, em conjunto, menos de 1/4 (cerca de 21%) do total de edifícios existentes em Portugal [12].

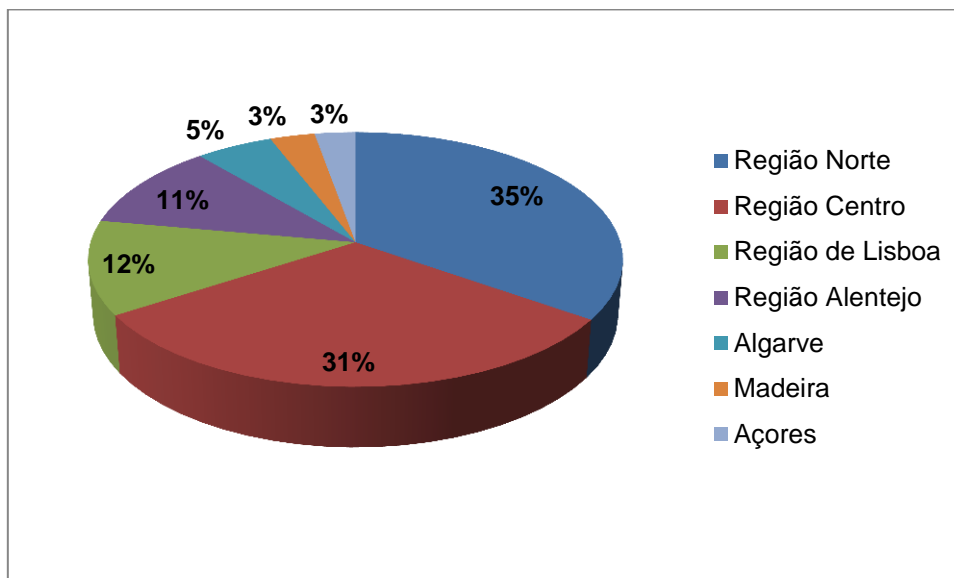


Figura 2.7 - Número de edifícios clássicos estimados por região para o período 1991-2010 (adaptado de [11])

Da análise da figura 2.8, podemos verificar que na região do Algarve em 2010, cerca de 80,2% dos fogos concluídos em construções novas para habitação respeitam a edifícios de apartamentos. Nas regiões de Lisboa e da Madeira, os edifícios de apartamentos abarcam respectivamente, 69,3% e 67,5% do total de fogos concluídos em construções novas para habitação familiar. As regiões do Alentejo e dos Açores são as únicas onde ainda predominam os fogos concluídos em moradias (respectivamente 59,5% e 58,2% dos fogos totais).

O número de fogos concluídos no país em 2010 registou um decréscimo de 13,2% relativamente ao ano anterior. Dos 50 055 fogos concluídos, mais de 1/3 localizaram-se na região Norte (34,5%). A região dos Açores é a que apresenta o menor peso relativo no número total de fogos concluídos (1,7%) [12].

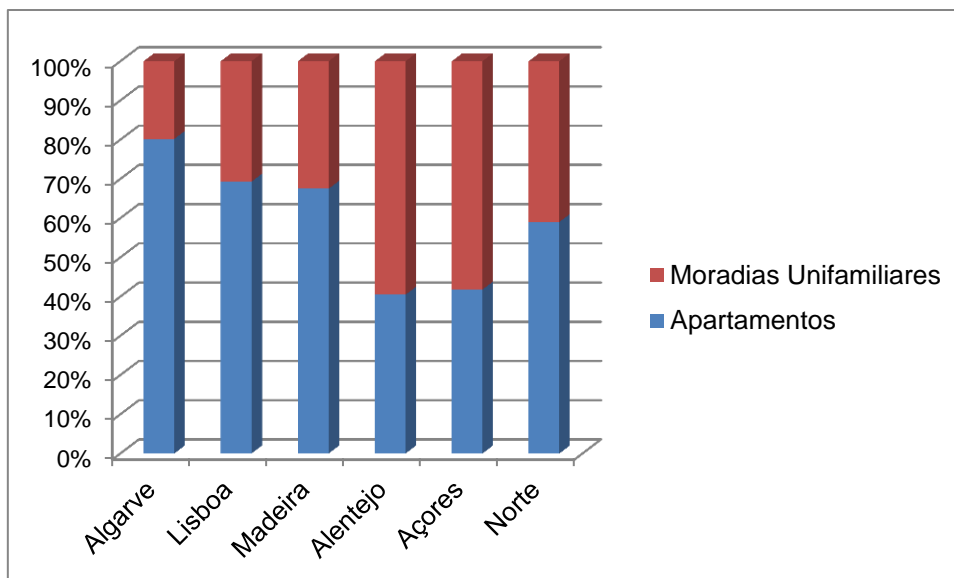


Figura 2.8 - Edifícios concluídos em Portugal para habitação familiar em 2010 (adaptado de [12])

O nosso parque habitacional, devido ao já conhecido boom de construção nova verificado nas últimas duas décadas, não é um parque habitacional envelhecido, evidenciando, contudo, sinais preocupantes de degradação motivada por factores diversos [10].

Os edifícios construídos em Portugal desde 1975 representam 59,8%, enquanto os edifícios com 30 ou mais anos constituem apenas 40,2% do parque habitacional, quando estes, em média, na Europa, representam mais de 70%, como vimos anteriormente [10].

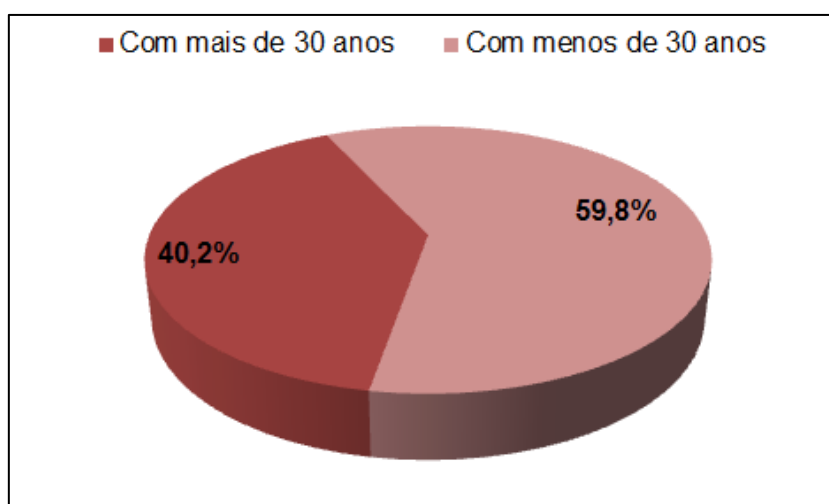


Figura 2.9 - Edifícios com mais de 30 anos vs. Edifícios com 30 ou menos anos (adaptado de [11])

No que respeita ao estado de conservação dos edifícios e tendo em conta os dados retirados dos Censos 2001 (os resultados do recenseamento de 2011 relativamente a este item ainda não foram revelados), 59,1% do total dos edifícios não apresentava necessidades de reparação, 38% tinham necessidades de reparação e cerca de 2,9% encontravam-se em estado muito degradado [12]

Na maioria dos edifícios com necessidades de reparação, estas são caracterizadas como sendo pequenas, o que é, sobretudo, visível nos edifícios mais recentes onde este tipo de intervenção é apontado em 74% dos casos. Globalmente, em 58,9% dos casos verificaram-se pequenas necessidades de reparação e médias ou grandes nos restantes edifícios [10].

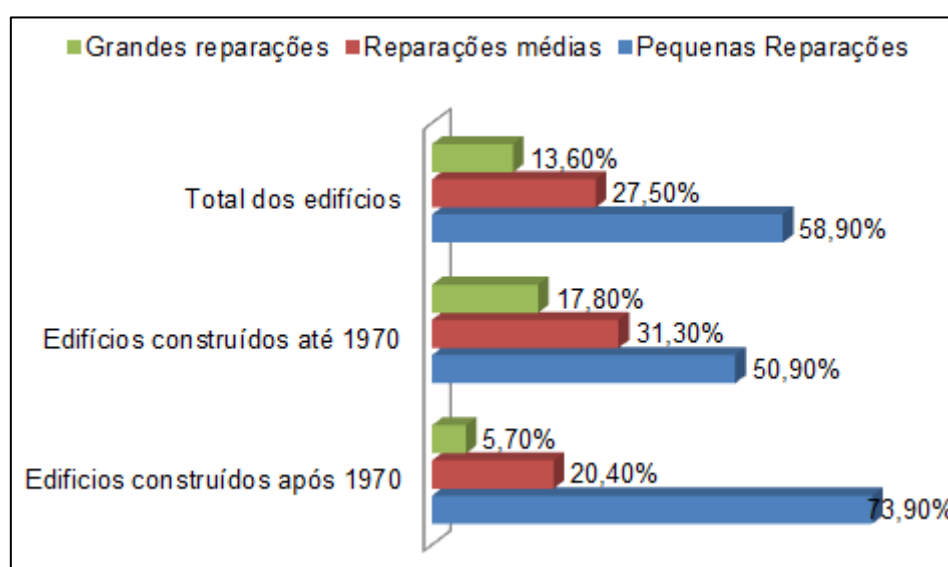


Figura 2.10 - Percentagem de edifícios por tipo de reparação e por época de construção (adaptado de [10])

Dos 31 887 edifícios que foram concluídos em Portugal no ano de 2010, cerca de 7 372 correspondiam a obras de reabilitação, o que significa cerca de 23,1%. Face ao ano de 2009, registou-se uma quebra de 1,1% do número de edifícios reabilitados, sendo que a maior parte destes (67,9%) correspondiam a obras de Ampliação [12].

O peso da reabilitação relativamente à construção nova tem aumentado nos últimos anos, fundamentalmente em resultado da redução progressiva da construção nova. Como podemos verificar na figura 2.11, até 2002 existiu um acréscimo acentuado de construções novas e uma relativa estabilidade das reabilitações do edificado. A partir do ano de 2003 assiste-se a uma quebra acentuada nas novas construções, o que tem feito com que exista cada vez mais uma maior importância relativa das reabilitações face ao total das obras concluídas [12].

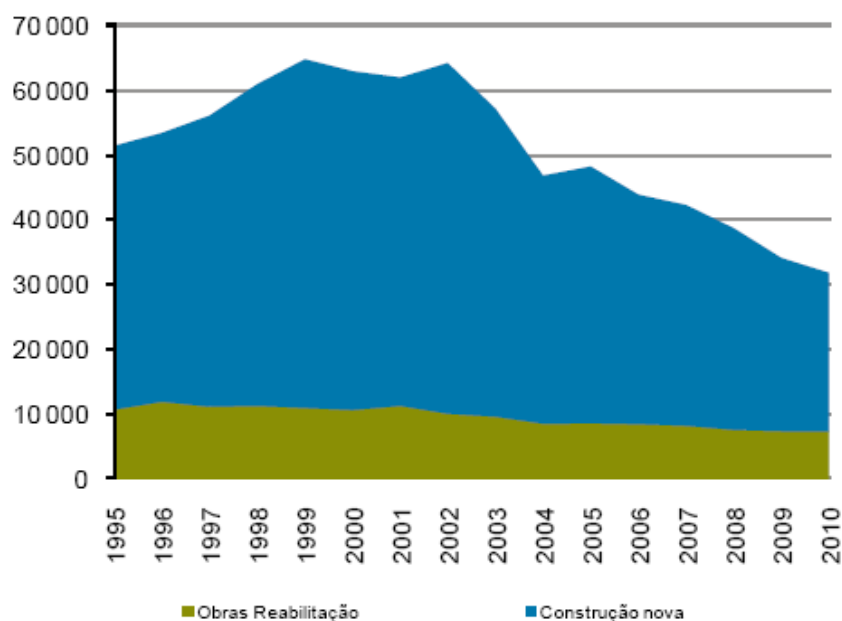


Figura 2.11 - Reabilitações e novas construções do edificado (1995-2010) [12]

Tendo em conta a evolução das obras de reabilitação do edificado, é possível concluir que o esforço de investimento em obras no sector habitacional tem sido predominantemente orientado para a construção nova, em prejuízo das obras de reabilitação do edificado, apesar das necessidades de reparações dos edifícios, na generalidade do país. Numa comparação entre o número de edifícios, para habitação familiar, em que foram realizadas obras de reabilitação com o número de edifícios resultantes de construção nova (também para habitação familiar), é possível concluir que a nível nacional, a proporção entre ambos apresenta um valor médio de 20,9% no período compreendido entre 2001 e 2010, registando-se contudo um aumento progressivo desta proporção nos últimos anos, tendo atingido o seu valor máximo em 2010 (25,7%).

No Alentejo e nas Regiões Autónomas a reabilitação do edificado é relativamente mais expressiva quando comparada com a Construção nova, ultrapassando de forma contínua desde 2001 a proporção obtida a nível nacional [12].

2.1.2. Consumo de Energia

O sector dos edifícios em Portugal e na Europa tem sido responsável por uma grande parte dos consumos energéticos. Esse crescimento exponencial que tem existido nos últimos anos pode ser explicado devido ao aumento das exigências de conforto e ao elevado número de edifícios construídos nas últimas décadas [14].

Na União Europeia, o consumo de energia no sector dos edifícios representa cerca de 39,1% do consumo total de energia, sendo cerca de 26,5% associado ao uso residencial e cerca de 12,6% aos serviços.

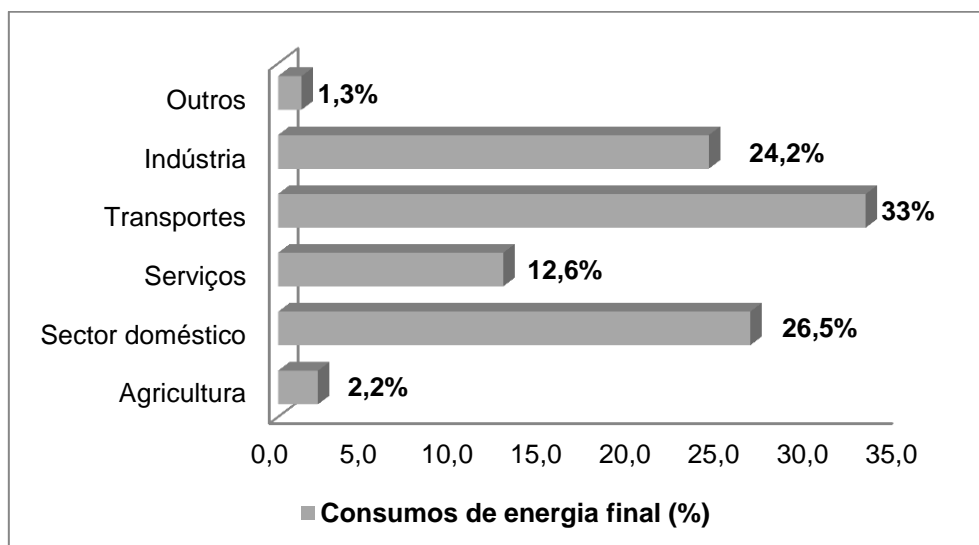


Figura 2.12 - Consumo de energia final na EU27 por sector (2009) - EU27 (adaptado de [13])

Em Portugal, o consumo de energia no sector dos edifícios representa um valor relativamente mais modesto de 29% do consumo total, sendo cerca de 17,7% associado ao uso residencial e cerca de 11,3% aos serviços.

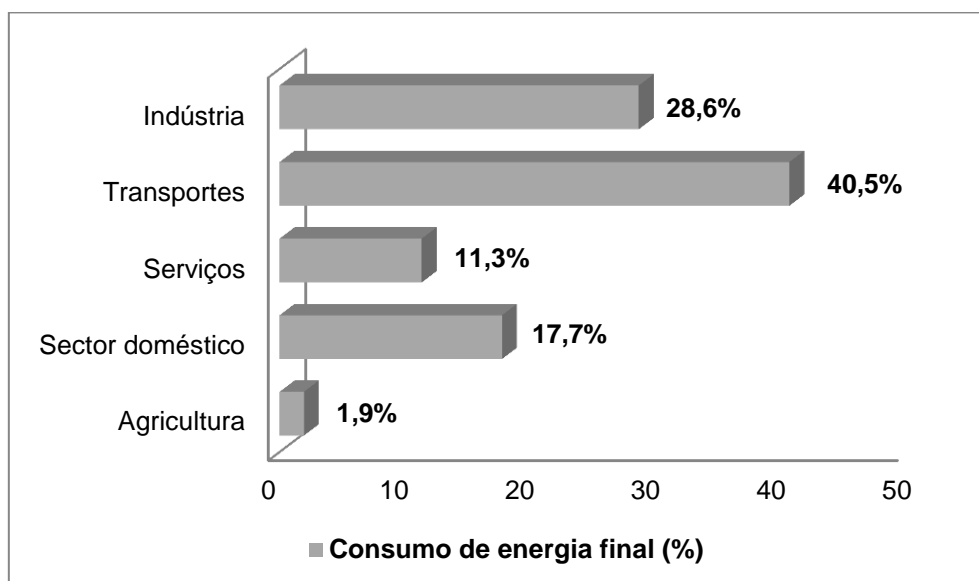


Figura 2.13 - Consumos de energia final em Portugal por sector (2009) (adaptado de [13])

De forma a entender o consumo de energia em edifícios, exige-se uma visão sobre os níveis de energia consumida ao longo dos anos e a variedade de combustíveis utilizados.

Como se pode verificar na figura seguinte, as principais tendências verificadas ao longo dos últimos anos tem sido um aumento de 50% da electricidade e do uso de gás e uma diminuição no consumo de petróleo e combustíveis sólidos em 27 e 75% respectivamente. No geral, o uso de energia nos edifícios é uma tendência crescente, com um aumento de cerca de 400 Mtep para 450 Mtep nos últimos 20 anos [9].

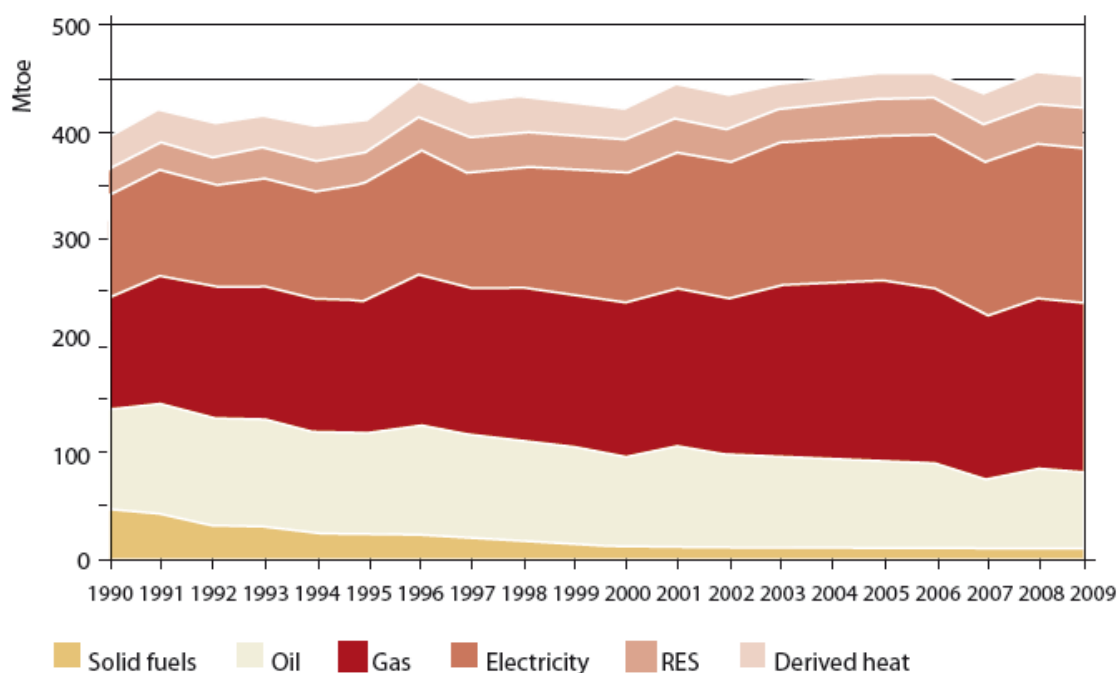


Figura 2.14 - Histórico do consumo de energia final no sector da construção (1990-2009) nos países europeus [9]

Em termos de emissões de CO₂, os edifícios são responsáveis por cerca de 36% das emissões na Europa. O valor médio das emissões de CO₂ na Europa é de 54 kg CO₂/m², sendo que os valores variam entre 5 kg CO₂/m² (Noruega) e 125 kg CO₂/m² (Irlanda), como se pode ver na figura 2.15.

O desempenho do edifício é uma componente chave neste processo. As emissões de CO₂ estão directamente relacionadas com o tipo de energia que é usado nos edifícios e das fontes de produção de electricidade em cada país. Por exemplo, a Noruega e a França possuem dos valores mais baixos da Europa, o que acontece devido à sua dependência da utilização da hidroelectricidade e energia nuclear, respectivamente [9].

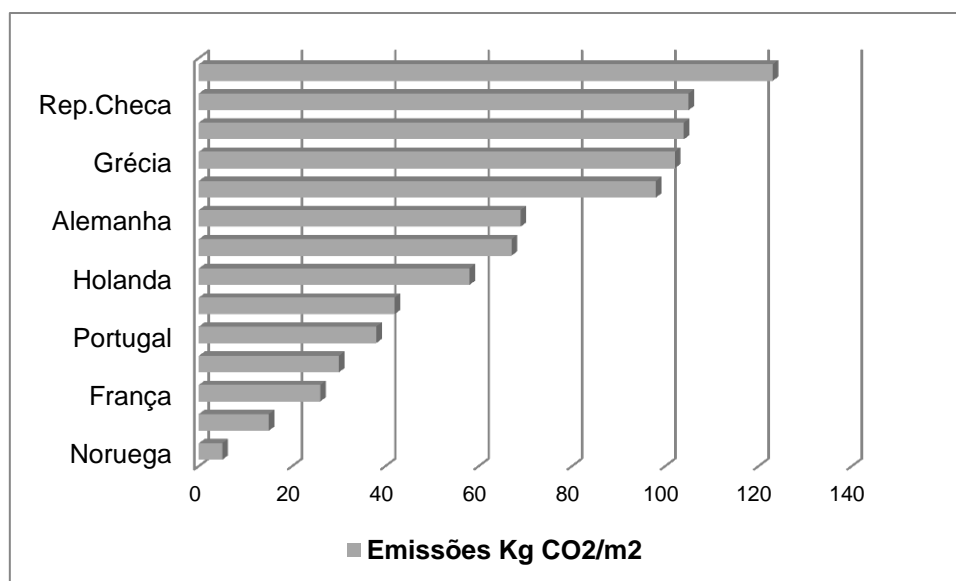


Figura 2.15 - Valor de emissões de CO₂ (KgCO₂/m²) por área útil em alguns países europeus (adaptado de [9])

Electricidade

A maior parte da energia consumida nos edifícios em todo o Mundo encontra-se sobre a forma de electricidade, que chega as nossas casas maioritariamente através da produção hídrica e térmica, esta última com recurso à queima de combustíveis fósseis (carvão, gás natural e derivados de petróleo), e a utilização directa de combustíveis tais como o butano, o propano, o gás natural ou o gasóleo, que são queimados localmente para a produção de calor (esquentadores, caldeiras, etc..).

A utilização de combustíveis fósseis apresenta dois grandes problemas: os impactos ambientais, provocados pelo aumento da produção de CO₂, e de outras fontes de poluição, e particularmente em Portugal, a dependência nacional face aos mercados internacionais, originada pela ausência de recursos energéticos fósseis em território português [17].

O problema essencial está na relação entre o consumo de combustíveis fósseis e as emissões de CO₂, e não no consumo de energia em si. Se a sociedade pudesse gerar toda a energia de que necessita a partir de fontes renováveis, este conflito não se colocaria da mesma forma, ou não seria por certo tão problemático e preocupante.

O consumo final de energia eléctrica na União Europeia tem crescido muito rapidamente nos últimos anos. É de notar no entanto, uma significativa redução do consumo de electricidade no ano de 2009 em relação ao anterior. Este consumo é dominado pelo sector doméstico e de serviços, que representou em 2009 cerca de 61% do consumo total. Segue-se a indústria que consumiu cerca de 36% da energia eléctrica total.

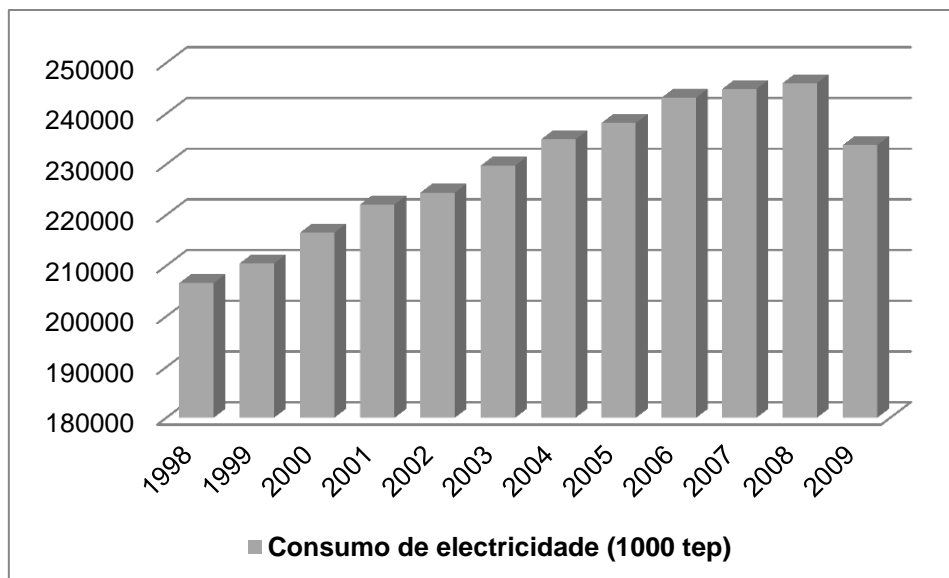


Figura 2.16 - Evolução do consumo de electricidade na EU-27 (1998-2009) [13]

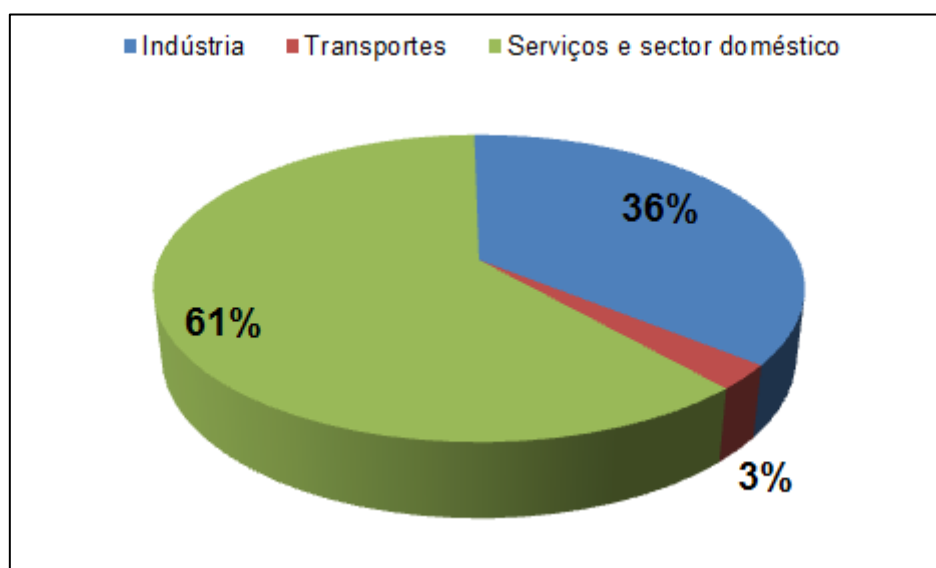


Figura 2.17 - Repartição do consumo de electricidade da EU-27, por sector (2009) (adaptado de [13])

Portugal tem seguido a mesma tendência da União Europeia em relação ao consumo de electricidade, como se pode verificar nas figuras seguintes:

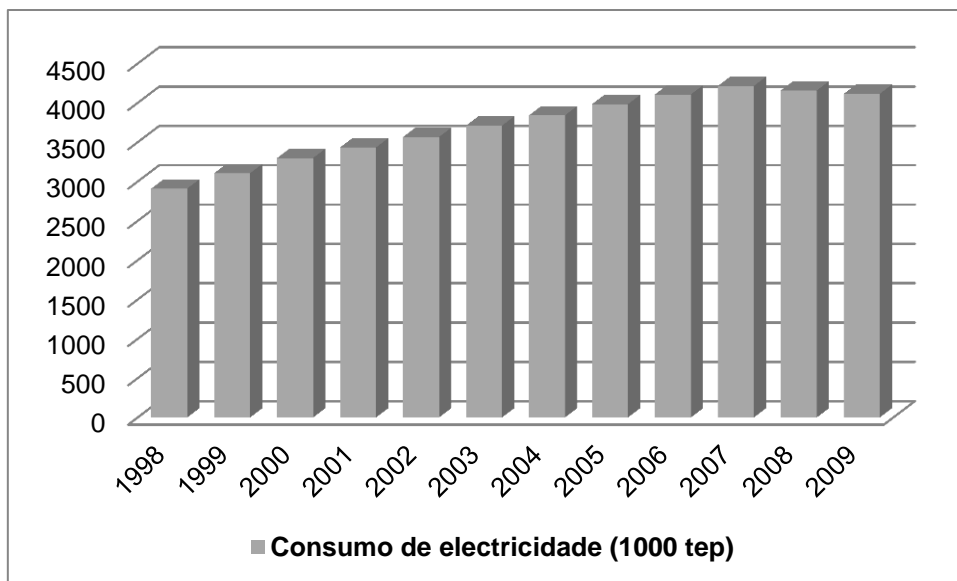


Figura 2.18 - Evolução do consumo de electricidade em Portugal (1998-2009) (adaptado de [13])

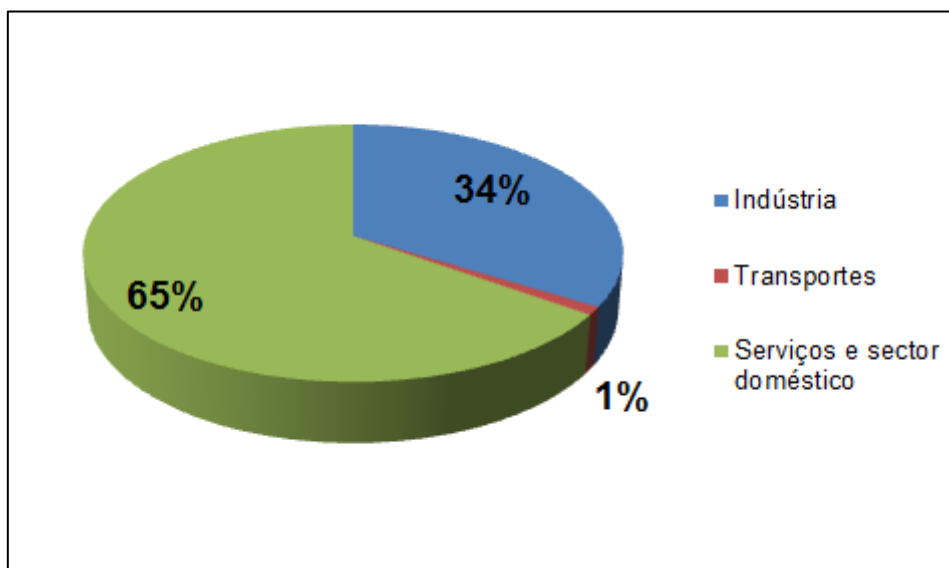


Figura 2.19 - Repartição do consumo de electricidade em Portugal, por sector em 2009 (adaptado de [13])

Estes elevados consumos existentes no sector doméstico e de serviços, acontecem maioritariamente dentro dos edifícios, em iluminação, aquecimento, arrefecimento e funcionamento dos equipamentos domésticos.

2.1.2.1. Consumos de Energia decorrentes do funcionamento dos edifícios

No sector residencial, a qualidade dos edifícios e do conforto tem aumentado particularmente nos últimos anos. As necessidades ligadas à higiene, as necessidades básicas na confecção e conservação dos alimentos, as necessidades de conforto térmico (aquecimento e arrefecimento), e ainda o uso de equipamentos de entretenimento e equipamentos eléctricos de apoio às tarefas (computadores pessoais, electrodomésticos, etc..), são comodidades que foram postas gradualmente à disposição dos utilizadores dos edifícios de habitação. Contudo, este nível mais elevado de conforto traduz-se normalmente num acréscimo de investimento e num maior consumo de energia com repercussão no aumento da emissão de gases que contribuem para o aquecimento global [18].

Analisando um estudo efectuado pelo IES (Institute for Environment and Sustainability), podemos compreender como é utilizada e como se distribui a energia no sector doméstico na União Europeia. Pode-se verificar que a maior percentagem do consumo de energia se deve aos aparelhos existentes na cozinha (engloba máquinas de lavar, frigoríficos, arcas, fornos), com cerca de 32% e à Climatização com 23% do total.

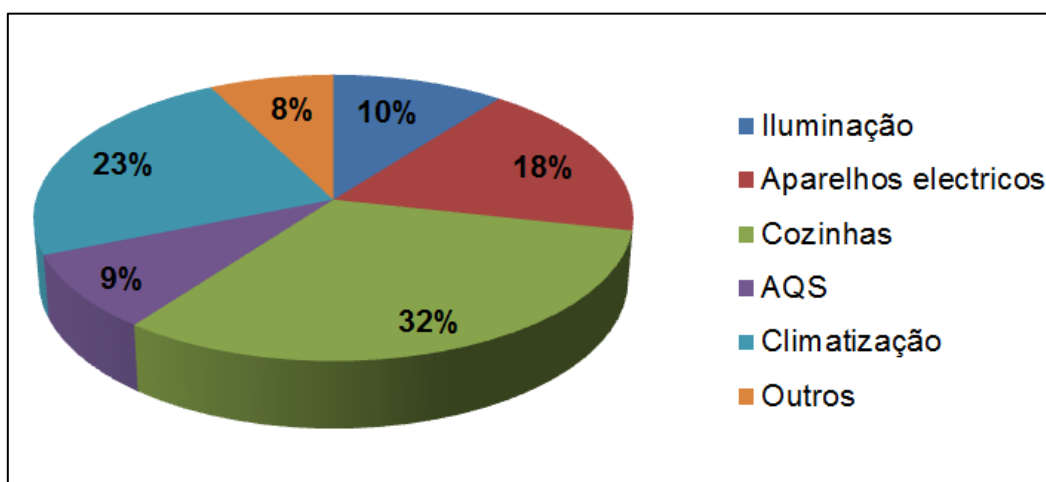


Figura 2.20 - Distribuição dos consumos de energia no sector doméstico na EU-27 (adaptado de [33])

Relativamente à repartição de consumo de electricidade no sector doméstico português, podemos verificar na figura seguinte, que respeita a um estudo do INE relativamente aos Consumos de Energia no Sector Doméstico, que a grande fatia desse consumo pertence, tal como na EU, aos aparelhos existentes na cozinha (engloba máquinas de lavar, frigoríficos, arcas, fornos), com cerca de 39% do total e à climatização e águas quentes sanitárias com 22 e 23% respectivamente.

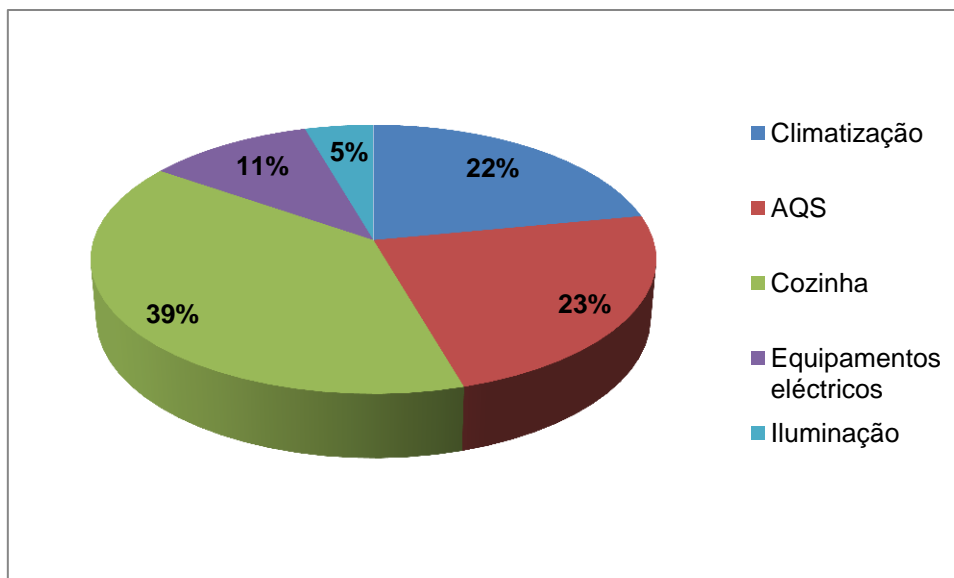


Figura 2.21 - Distribuição dos consumos de energia no sector doméstico em Portugal (adaptado de [34])

Numa óptica de eficiência energética é urgente integrar os princípios de racionalização de energia nos edifícios novos e nos que necessitam de obras de reabilitação, de forma a evitar que os consumos energéticos aumentem drasticamente. Algumas intervenções eficazes em edifícios podem conduzir a poupanças de 30 a 35% no consumo de energia, mantendo as mesmas condições de conforto [18].

Iluminação

No que respeita à Iluminação e, mais especificamente, ao tipo de lâmpadas utilizadas nos alojamentos em Portugal, verifica-se que continua a predominar o tradicional sistema de iluminação, baseado em lâmpadas incandescentes.

Assim, as lâmpadas incandescentes foram utilizadas por cerca de 81% dos alojamentos, enquanto as lâmpadas economizadoras apenas foram utilizadas em 67,7% dos alojamentos no período de referência. As lâmpadas fluorescentes tubulares ou compactas foram o 2º principal tipo de lâmpadas utilizado no sector doméstico, estando presentes em 77,9% dos alojamentos.

As lâmpadas LED estão ainda pouco difundidas, tendo a sua utilização sido muito limitada e respeitante a apenas 3,2% dos alojamentos.

Contudo, no que respeita ao número de lâmpadas utilizadas no alojamento, verifica-se já uma aproximação entre as lâmpadas incandescentes e as economizadoras, dado que, em termos médios, cada alojamento está a utilizar 9 lâmpadas incandescentes face a 8 lâmpadas economizadoras [34].

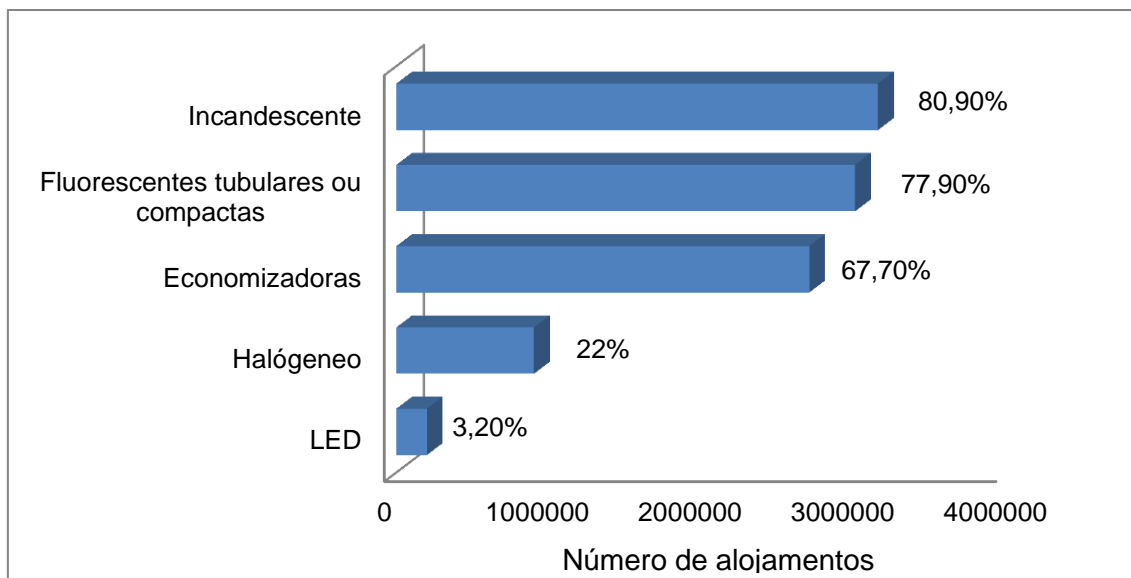


Figura 2.22 – Alojamentos por tipo de lâmpada utilizada – Portugal 2010 (adaptado de [34])

Informática e Entretenimento

A Televisão domina em termos da sua utilização no sector doméstico Português, tendo sido utilizada na quase totalidade dos alojamentos familiares clássicos de residência principal no período de referência (99,6%) e para os quais se regista a existência de, em média, 2 equipamentos por alojamento. Seguem-se o computador (utilizado em 59,4% dos alojamentos), o Leitor de DVD (47,2%) e o Rádio (41,3%).

A Televisão é o equipamento que maioritariamente se encontra desligado em modo stand-by nos alojamentos (cerca de 44%). Segue-se o Leitor de DVD (21,5%), a Aparelhagem (18,7%) e o Rádio (17,8%).

Por oposição, e de entre os equipamentos de entretenimento e informática considerados neste estudo do ICESD destaca-se a Impressora/Fax, que apenas foi utilizada por 4,3% dos alojamentos [34].

Cozinha

De entre os equipamentos utilizados para a preparação de refeições na Cozinha, o Fogão com forno e a Placa foram os equipamentos de Cozinha mais utilizados, estando presentes em, respectivamente, 65,5% e 36,3% dos alojamentos [34].

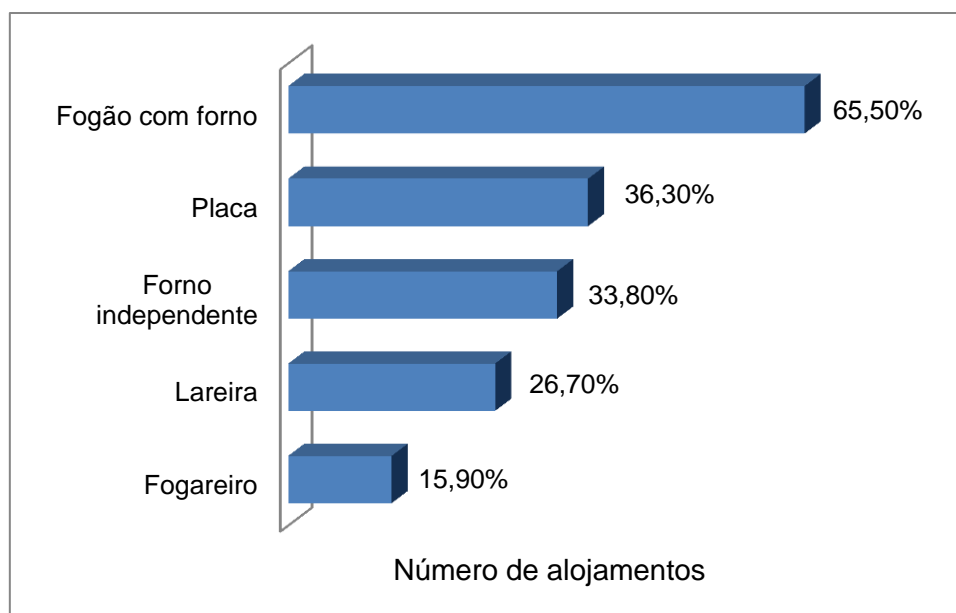


Figura 2.23 – Alojamentos que utilizam equipamentos na cozinha por tipo de equipamento – Portugal 2010 (adaptado de [34])

No que respeita aos grandes electrodomésticos utilizados na Cozinha destaca-se a Máquina de lavar roupa que foi utilizada por cerca de 91% dos alojamentos. Seguem-se o Frigorífico com congelador (utilizado em 58,3% dos alojamentos), a Arca congeladora (47,6%) e a Máquina de lavar loiça (40,8%).

De entre os grandes electrodomésticos utilizados na Cozinha, a Máquina de lavar e secar roupa foi a menos utilizada, dado que apenas 3,2% dos alojamentos a usaram no período de referência [34].

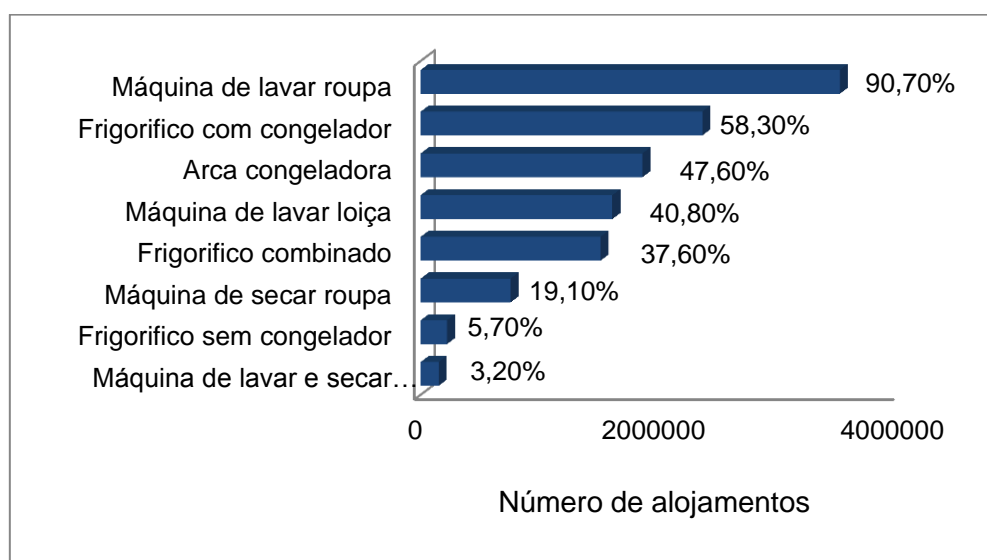


Figura 2.24 – Alojamentos que utilizam grandes electrodomésticos por tipo de equipamento (adaptado de [34])

Em termos dos pequenos electrodomésticos, destacam-se o Ferro de engomar (utilizado por 92,1% dos alojamentos), o Microondas (81,8%) e o Aspirador (74,9%) [34].

Climatização (Aquecimento e arrefecimento)

Os sistemas de aquecimento e arrefecimento têm papel fundamental nas habitações (devido ao forte impacto no conforto ambiente dos seus ocupantes), sendo responsáveis por uma parte significativa da factura energética da habitação e consequentemente pelas emissões de gases poluentes emitidos para a atmosfera. Podemos considerar que a eficiência energética de um sistema de aquecimento e/ou de arrefecimento de um edifício atinge o nível mais elevado, quando menor for o consumo de energia mantendo as condições de conforto térmico estáveis, proporcionando assim o bem-estar das pessoas [18].

Na figura 2.25 pode ser visto consumo final de energia para aquecimento no sector residencial Europeu, dividido entre todos os combustíveis e electricidade. A proximidade existente nos valores de aquecimento graus-dia e o consumo de combustíveis dá ênfase à ligação existente entre as condições climáticas e o uso de aquecimento, ou seja, anualmente o consumo de energia para aquecimento vai depender muito do clima de um determinado ano. Também o aumento do uso de aparelhos de aquecimento nos domicílios é visível com o aumento do consumo de electricidade nos últimos 20 anos (38%). De referir que a percentagem de utilização de energia para aquecimento é tipicamente menor em climas mais quentes (países do sul da europa com cerca de 55% da energia a ser utilizada para aquecimento contra os cerca de 66% nas restantes regiões com clima mais frio) [9].

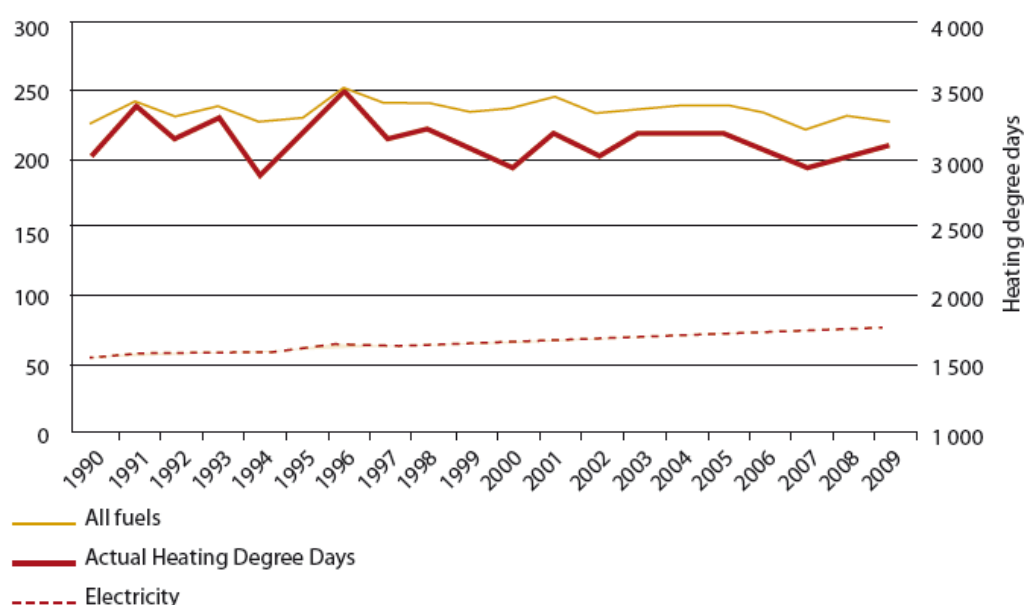


Figura 2.25 - Histórico do consumo de energia final para aquecimento no sector residencial europeu [9]

Em Portugal, é estimado que a climatização represente cerca de 25% dos consumos de energia dos edifícios, sendo que o aquecimento dos espaços no sector residencial representa cerca de 2-3% do consumo total de energia em Portugal [14].

Segundo o estudo efectuado pelo INE, sabe-se que do total de alojamentos que compõem o universo deste inquérito, 78,3% utilizaram equipamentos para aquecimento do ambiente, no período de referência (Outubro de 2009 a Março de 2010). O aquecedor eléctrico independente foi o principal equipamento utilizado para aquecimento do ambiente, tendo sido usado por cerca de 1,9 milhões de alojamentos em 2010, correspondendo a 61,2% do total de alojamentos que utilizaram equipamentos para aquecimento do ambiente. O número médio deste tipo de equipamentos utilizados cifrou-se nos 1,5 equipamentos por alojamento, correspondendo a um total de 2,8 milhões de aquecedores eléctricos independentes, dos quais cerca de 80% possuem termóstato.

Seguem-se por ordem decrescente de importância as lareiras abertas e as lareiras com recuperador de calor, que foram utilizadas respectivamente em 24% e 11,1%, dos alojamentos que utilizaram equipamentos para o aquecimento do ambiente em 2010. Por oposição, o equipamento menos utilizado para o aquecimento do ambiente foi o aquecedor a GPL independente, usado apenas por 7,1% dos alojamentos que utilizaram equipamentos para aquecimento do ambiente.

Quanto ao período de funcionamento, cerca de 65% destes equipamentos funcionaram principalmente durante a noite (18h - 8h) [34].

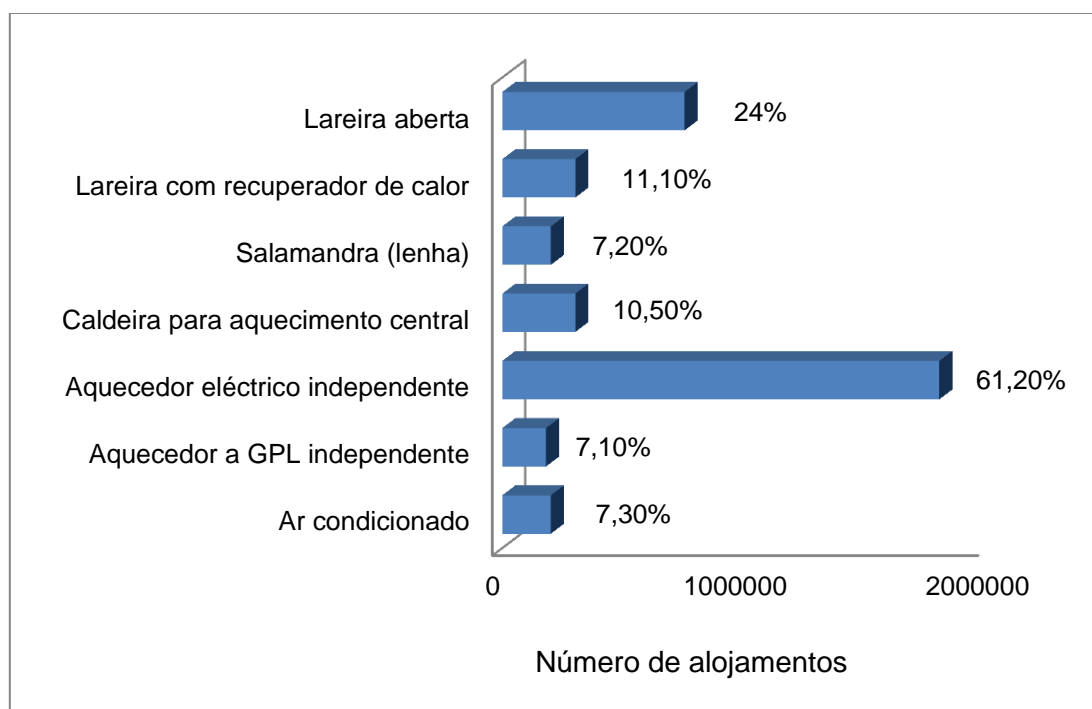


Figura 2.26 – Alojamentos que utilizam equipamentos para aquecimento do ambiente por tipo de equipamento – Portugal 2010 (adaptado de [34])

Grande parte do valor de energia consumida para aquecimento em Portugal é da responsabilidade dos edifícios mais antigos. As necessidades de aquecimento no nosso País são mais baixas devido ao clima ser mais ameno e os Invernos não serem tão rigorosos. Apesar dessa situação, o uso de energia no nosso país é relativamente alto, o que indicia uma falta de qualidade térmica das envolventes dos edifícios [9].

Em países como o nosso, devido ao clima, também o arrefecimento se torna um contributo importante para o consumo global [9].

Produção de águas quentes sanitárias (AQS)

O aquecimento de água é um processo no qual é consumida uma grande quantidade de energia, pelo que a selecção e utilização eficiente destes sistemas apresenta um grande impacto no consumo energético. Numa habitação, o aquecimento de águas tem vindo a ser maioritariamente produzido através de esquentadores a gás ou termoacumuladores eléctricos, mas quando existem unidades de aquecimento central, é habitual que elas também produzam águas quentes sanitárias [18].

Segundo o estudo do INE, para o aquecimento de águas foi fundamentalmente utilizado o Esquentador, presente em 78,6% dos alojamentos que utilizaram equipamentos para esta finalidade.

A capacidade média dos esquentadores utilizados para o aquecimento de águas foi de 14 litros por minuto, e em média cada alojamento dispunha de um único equipamento desse tipo.

Seguem-se as caldeiras e os termoacumuladores, usados respectivamente por 11,9% e 11,2% dos alojamentos que utilizaram equipamentos para o aquecimento de águas.

No que respeita à utilização das caldeiras, é importante referir que em 56,8% dos alojamentos que as utilizaram, as caldeiras se encontravam ligadas ao sistema de aquecimento central, sendo que nos restantes 43,2% dos alojamentos, as caldeiras eram independentes do aquecimento central. Em 54,7% dos alojamentos que utilizaram caldeiras, a fonte de energia utilizada para o seu funcionamento foi a Biomassa [34].

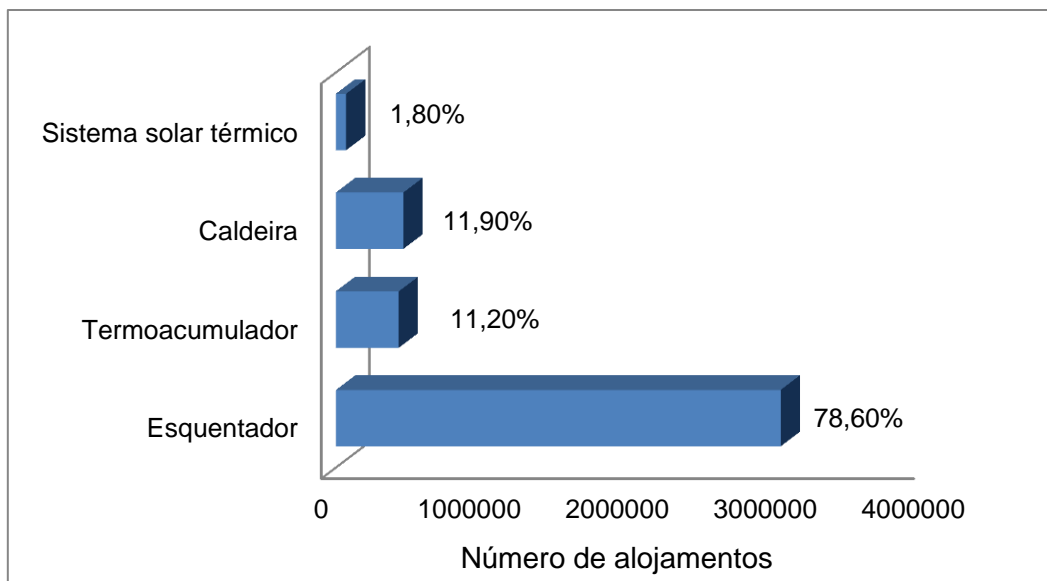


Figura 2.27 – Alojamentos que utilizam equipamentos para aquecimento de águas por tipo de equipamento – Portugal 2010 (adaptado de [34])

Os custos elevados associados à produção de águas quentes sanitárias poderão ser transferidos para uma produção de origem renovável (energia solar térmica). Em Portugal, desde Julho de 2006, todos os edifícios novos devem ser projectados de acordo com o novo RCCTE (DL 80/2006). Neste regulamento prevê-se a utilização de painéis solares térmicos sempre que o edifício apresentar boas condições de captação de radiação solar. De referir que um sistema de energia solar instalado por pessoal qualificado e devidamente dimensionado, pode conduzir a uma poupança de 70% dos custos em energia necessários para a produção de água quente para uso doméstico [18].

2.2. A Importância da conservação de Energia no sector dos edifícios

Como já vimos, o consumo de energia nos edifícios é de cerca de 30 a 40% relativamente ao consumo total de energia [35].

A conservação de energia é muitas vezes entendida somente como poupança ou redução dos consumos energéticos. Trata-se no entanto de uma visão limitada deste conceito, pois conservação de energia pode nem significar uma redução dos consumos energéticos finais.

Por conservação de energia entende-se a utilização ou gestão racional da energia tendo como finalidade a redução das perdas através da envolvente, tirando partido do isolamento térmico e do controlo das infiltrações e a utilização racional dos ganhos solares recorrendo a superfície envidraçadas viradas a Sul associadas a massas inerciais adequadas [36].

Essa conservação energética nos edifícios pode então assumir um importante contributo para aliviar a escassez energética e, ao mesmo tempo, melhorar o meio ambiente, reduzindo a poluição causada por este excessivo consumo de energia [35].

A forma de melhorar a eficiência destes sistemas consiste na tomada de soluções adequadas, logo no início, relativas ao planeamento, concepção, direcção e orientação da envolvente do edifício [35].

Importa que um edifício seja concebido por forma que [36]:

- As necessidades de energia para o conforto sejam reduzidas ao mínimo tirando partido das condições ambientais e do isolamento térmico e controlo das infiltrações;
- As necessidades energéticas que não são satisfeitas com ganhos gratuitos (ocupantes e equipamentos) sejam conseguidas através do aproveitamento da radiação solar (vãos envidraçados convenientemente orientados e massas inerciais);
- Os ganhos no Verão sejam reduzidos pelo afastamento da incidência da radiação à custa de dispositivos de sombreamento e favorecendo a ventilação.

Entre as principais medidas de conservação de energia encontram-se as seguintes [36]:

- Aplicação de Isolamento Térmico;
- Controlo de Infiltrações;
- Sombreamento

2.2.1. Isolamento Térmico

O tratamento da parte envolvente de um edifício (estrutura, paredes, pavimentos, coberturas) com isolamentos térmicos adequados, origina consideráveis reduções nos consumos de energia para aquecimento [36].

O isolamento térmico da envolvente de um edifício é essencial para proteger o interior do edifício do ambiente exterior e minimizar a transferência térmica (perda ou ganhos de calor) por meio da envolvente durante os períodos de Inverno e de Verão. O isolamento térmico dificulta a passagem de calor por condução do interior ao exterior da habitação e vice-versa. Assim, a sua correcta aplicação torna-se eficaz tanto no inverno como no verão. A quantidade de calor necessária para manter uma habitação à temperatura de conforto depende em larga medida, do nível de isolamento térmico, que previne a transferência de calor entre o interior e exterior do edifício [9], [17].

Um edifício com baixos níveis de isolamento térmico conduz a perdas de calor significativas, que consequentemente conduzem a maiores consumos energéticos com o aquecimento e

arrefecimento, sendo que de inverno os espaços arrefecem rapidamente, podendo dar origem a condensações no seu interior prejudiciais para a saúde e bem-estar dos seus ocupantes, e de verão o interior aquece mais e num curto espaço de tempo. Por esta razão, o isolamento térmico representa um factor chave para reduzir o consumo energético, pois a sua implementação permite diminuir as perdas de calor e aproveitar os ganhos utilizando técnicas de isolamento adequadas aos edifícios [17].

Para que o isolamento térmico seja eficaz é necessário eliminar as pontes térmicas e cobrir totalmente toda a superfície a ser isolada. As descontinuidades do isolamento resultam em pontes térmicas que devem ser evitadas. Estas pontes térmicas são pontos localizados na envolvente do edifício onde existe maior perda de calor em relação às restantes áreas dos elementos da envolvente. Estes pontos frágeis na envolvente acarretam um aumento do consumo de energia para aquecimento, podendo mesmo causar danos como infiltrações e condensações, reduzindo a sua durabilidade [17].

Quanto à localização deste material isolante, este deve ser preferencialmente aplicado do lado exterior do elemento de modo a se conseguirem menores amplitudes térmicas nesse elemento, levando por isso a menores deteriorações do material e a uma massa de acumulação térmica interior [36]

A prescrição de restrições mais severas para o isolamento térmico da envolvente dos edifícios assume-se então como o ponto-chave para a redução dos consumos de energia, promovendo a melhoria das condições ambientais e de conforto nos espaços interiores. Os benefícios de se aumentar o isolamento são evidentes para minimizar as trocas de calor com o exterior, e reduzir as necessidades de aquecimento/arrefecimento (reduzindo consequentemente os custos associados aos equipamentos de climatização), pois quanto menor for o coeficiente de transmissão térmica, menores serão as perdas pela envolvente, promovendo igualmente a promoção das poupanças energéticas [17].

Contexto Europeu

A figura seguinte compara os valores de U (coeficiente de transmissão térmica) típicos de paredes em alguns países europeus para períodos de construção diferentes. A falta de bons isolamentos em edifícios mais antigos é claro em todos os países devido à falta de normas de isolamento nesses anos de construção. Esta parte mais antiga do parque imobiliário contribui em grande parte para o alto consumo de energia neste sector, visto que estes edifícios tendem a consumir mais devido aos seus níveis de baixo desempenho energético [9].

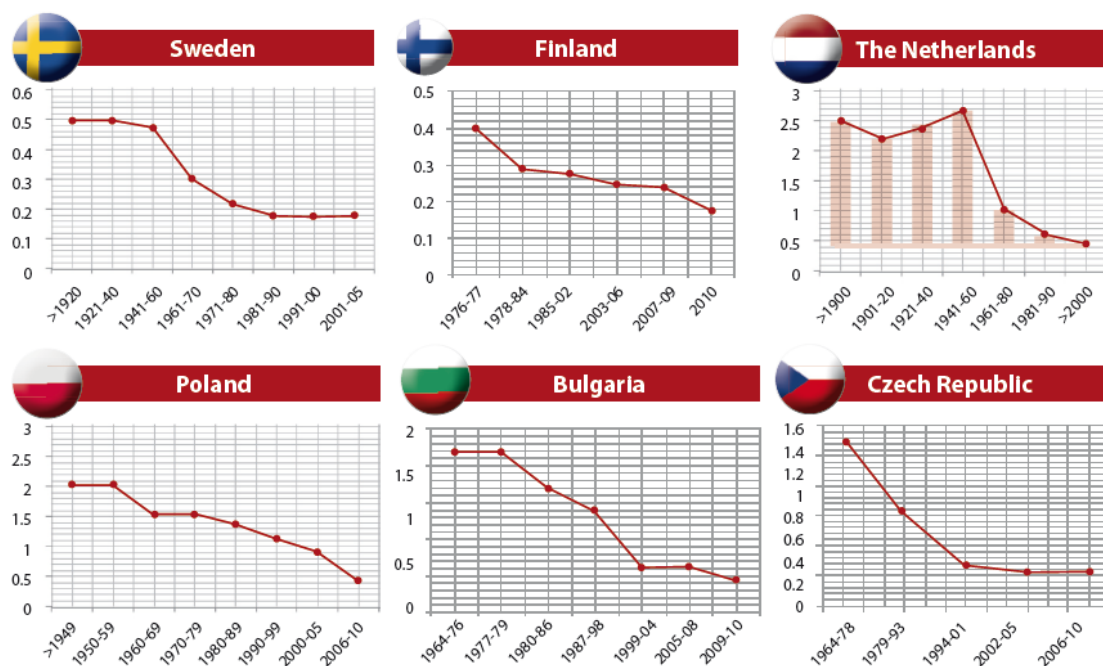


Figura 2.28 - Valores de Coeficiente de transmissão térmico U ($W/(m^2K)$) de paredes exteriores em diferentes países europeus por período de construção [9]

Contexto Nacional

Em Portugal, devido as imposições da Directiva EPBD (Directiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos Edifícios que visava estabelecer uma série de novos requisitos com o objectivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios de forma a procurar atingir os objectivos traçados aquando da assinatura do Protocolo de Quioto), que determinavam que todos os países membros deveriam implementar novas e rígidas exigências nas suas regulamentações nacionais, surgiu a revisão do Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Após essa revisão (2006) foi verificada uma redução de 50% nos valores de U (coeficiente de transmissão térmico) nos últimos 5 anos [9], [17].

2.2.2. Controlo de Infiltrações

Uma fenestração mal concebida e/ou deficientemente construída pode causar perdas energéticas até 35% das necessidades térmicas de um edifício. As perdas térmicas através das janelas resultam principalmente da infiltração excessiva de ar frio através de frinchas mal calafetadas mas também de transmissão térmica directa através do vidro [36].

A redução das infiltrações é um método de conservação de energia de fácil aplicação que pode ser conseguido através de uma cuidadosa calafetagem das frinchas em toda a envolvente, da aplicação de vidros duplos (a presença de ar entre os vidros permite reduzir a

perda de calor de inverno e ganhos de calor indesejáveis no verão) e persianas isolantes em todas as janelas bem como a aplicação de uma caixilharia com propriedades minimamente isolantes (as caixilharias com corte térmico são as que apresentam melhores propriedades térmicas) [17], [36].

Convém no entanto não esquecer que, na maioria dos edifícios, a infiltração é muitas vezes a única forma de renovação de ar existente. Portanto, nesses casos, a redução da infiltração nunca deve ser levada ao extremo pois resultariam taxas de renovação de ar demasiado baixas [36].

2.2.3. Sombreamento

Nas zonas quentes, a radiação solar influencia largamente o consumo energético nos edifícios. O sombreamento de edifícios consiste, essencialmente, na protecção contra o calor durante o Verão, sendo um elemento eficiente para controlar a incidência solar para o interior dos edifícios [35].

A utilização de sombreadores torna-se particularmente útil quando se dispõe de grandes superfícies envidraçadas e se pretende durante o tempo quente não só controlar a intensidade luminosa como também impedir o excesso de radiação solar no interior. Durante a estação fria, certos tipos (estores e portadas) têm também a vantagem de funcionar como isolantes térmicos diminuindo as perdas para o exterior [36].

Os sombreadores podem ser exteriores ou interiores, fixos ou móveis. Os sombreadores exteriores são mais aconselháveis uma vez que os interiores podem contribuir para um aquecimento suplementar do ar ambiente na estação quente, ao absorver parte da energia solar incidente. Quanto aos sombreadores fixos ou móveis, estes últimos têm-se mostrado mais eficientes apesar de exigirem uma participação activa dos ocupantes do edifício. Os sombreadores fixos (normalmente placas horizontais sobre as janelas), mesmo quando correctamente dimensionados de modo a permitir a radiação solar directa no Inverno e a impedi-la no Verão, podem constituir um obstáculo à radiação solar difusa durante a estação fria ao passo que os sombreadores móveis permitem uma maior flexibilidade na escolha dos períodos a sombrear para além de terem uma fácil aplicação em qualquer tipo de edifício [36].

2.3. Certificação Energética dos edifícios

Como já referido anteriormente, os sectores residencial e de serviços, constituídos maioritariamente por edifícios, absorvem cerca de 40% do consumo final de energia na União Europeia. No entanto mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂ (quase a totalidade do compromisso da EU no âmbito do Protocolo de Quioto) [21].

De forma a fazer face a esta situação, os Estados Membros têm vindo a promover um conjunto de medidas com vista a promover a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios [21].

Neste contexto, o Parlamento Europeu elaborou em 2002, uma Directiva relativa ao desempenho energético dos edifícios (Directiva 2002/91/CE do parlamento europeu e do conselho), fornecendo orientações aos Estados-Membros para que apliquem e comuniquem programas relativos à eficiência energética dos edifícios, com vista a materializar o grande potencial não consumado de economias de energia e reduzir as grandes diferenças entre os Estados-Membros no que respeita aos resultados deste sector [19].

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), foi resultado da transposição para direito nacional dessa mesma Directiva. A aplicação desta directiva em Portugal, foi então efectuada através da revisão de dois regulamentos já existentes desde 1998, mas que contavam ainda com uma quase inexistente aplicação. O objectivo nacional que o Governo estipulou na transposição desta directiva será o aumento de 40% da eficiência energética dos edifícios. Esta revisão veio por um lado reforçar a obrigatoriedade da sua implementação e, por outro, tornar mais exigentes os seus requisitos. Esses regulamentos são o Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril, que aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e o Decreto-Lei n.º 89/2006, de 4 de Abril, que aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [19].

O RCCTE veio estabelecer requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente (paredes, envidraçados, pavimentos e coberturas), limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos. Este regulamento impõe limites aos consumos energéticos da habitação para climatização e produção de águas quentes, num claro incentivo à utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacto em termos de consumo de energia primária. A nova legislação determina também a obrigatoriedade da instalação de colectores solares e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável na determinação do desempenho energético do edifício. Em paralelo, o RCCTE visa também garantir a minimização de efeitos patológicos na construção derivados

das condensações superficiais ou internas, com potencial impacto negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior [19], [22].

O RSECE veio igualmente definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados sistemas de climatização, os quais, para além dos aspectos da qualidade da envolvente e da limitação dos consumos energéticos, abrangem também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, obrigando igualmente à realização de auditorias periódicas aos edifícios de serviços. Neste regulamento, a qualidade do ar interior surge também com requisitos que abrangem as taxas de renovação do ar interior nos espaços e a concentração máxima dos principais poluentes [22].

A aplicação destes regulamentos é verificada em várias etapas ao longo do tempo de vida de um edifício, sendo essa verificação realizada por peritos devidamente qualificados para o efeito. São esses os agentes que, na prática e juntamente com a ADENE, irão assegurar a operacionalidade do SCE. A face mais visível deste trabalho será o Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior emitido por um perito, para cada edifício ou fracção, e no qual estes serão classificados em função do seu desempenho numa escala predefinida de 9 classes, de A+ (alto desempenho) a G (baixo desempenho) [22].

Nos edifícios novos (com pedido de licença de construção após entrada em vigor do SCE), as classes energéticas variam apenas entre as classes A+ e B-. Os edifícios existentes podem ter qualquer classe [21].

Consumo referência	existentes	Edifícios novos	Classe energética	Comparação com o consumo de referência
			A+	Menos de 25% do consumo de referência
			A	Entre 25 e 50%
			B	Entre 50 e 75%
			B -	Entre 75% e 100%
	Edifícios	C	Entre 100 e 150%	
		D	Entre 150 e 200%	
		E	Entre 200 e 250%	
		F	Entre 250 e 300%	
		G	Mais de 300% do consumo de referência	

Figura 2.29 - Classes Energéticas e comparação com o consumo de referência (adaptado de [21])

Se analisarmos os dados relativos às habitações já existentes que foram avaliadas no início deste processo de certificação (Janeiro a Junho de 2009), verificamos que na sua maioria (cerca de 60%) os edifícios existentes não são energeticamente eficientes (classe inferior a B-). Se tivermos ainda em conta que cerca de 92% dos edifícios certificados eram habitacionais, é possível concluir que grande parte do parque habitacional existente não é energeticamente eficiente.

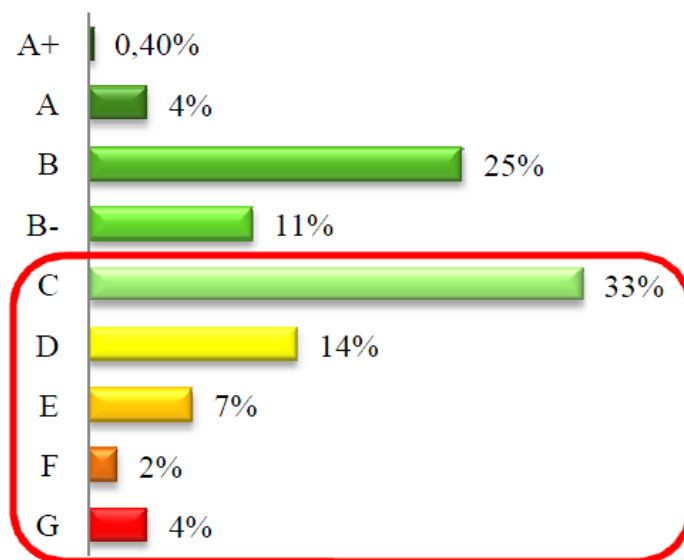


Figura 2.30 - Distribuição percentual das habitações existentes certificadas entre Janeiro e Junho de 2009, por classe energética [20]

Se nos limitarmos apenas a analisar os dados referentes aos edifícios novos, concluímos que as melhorias são significativas. Mais de 50% dos edifícios avaliados obtiveram uma classificação A e A+, sendo que apenas 15% foram classificados com nota mínima possível nestes casos (B-). Estes valores demonstram que a legislação foi bem executada e que a fiscalização foi efectuada de forma eficiente. Este sucesso na implementação dos regulamentos conseguiu que os edifícios fossem construídos com eficiência energética e com melhores condições de habitabilidade.

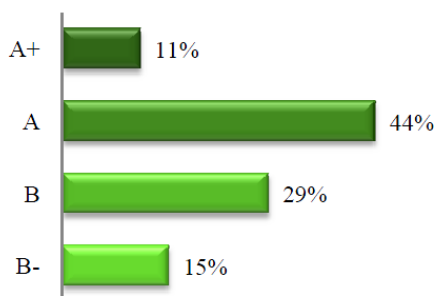


Figura 2.31 - Distribuição percentual das certificações (por classe energética) das habitações construídas a partir de Julho 2007

Apesar desta melhoria assinalável nas novas construções, o principal problema está nos edifícios já existentes, principalmente aqueles construídos antes de 1990, altura onde praticamente não se tinham em conta qualquer tipo de preocupações energéticas e de conforto térmico.

2.4. Contributo da construção sustentável

Como já vimos, grande parte do consumo de combustíveis fósseis e da produção de gases com efeito de estufa, bem como grande parte da geração de resíduos estão relacionados com a construção de edifícios e sua utilização.

Toda esta situação evidencia um sector claramente insustentável, tornando-se urgente elevar a qualidade da construção e reduzir a sua influência negativa no planeta. Nasce uma necessidade de desenvolver processos, metodologias e operações de construção que reduzam significativamente os problemas de cariz ambiental e energéticos associados a este sector de actividade, procurando uma construção eficiente que tenha um impacto mínimo no meio envolvente. Esta nova atitude de projectar/construir tem o nome de construção sustentável [46].

2.4.1. Conceito e Princípios

O conceito de Construção Sustentável foi pela primeira vez sugerido pelo Prof. Charles Kibert em 1994, numa conferência mundial organizada pela CIB (Conselho Internacional de Construção), em Tampa, Flórida EUA, onde se discutiu o futuro da construção de um ponto de vista da sustentabilidade. A construção sustentável tem em conta a aplicação de sustentabilidade nas actividades de construção tentando traçar objectivos e criar responsabilidade na indústria da construção [38].

Segundo o próprio Kibert, pretende-se a “criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente dos recursos”. A partir destes recursos (solo, materiais, energia e água), Kibert estabeleceu os seis princípios base da construção sustentável [37], [38]:

- Reduzir o consumo de Recursos;
- Maximizar e reutilizar os recursos sempre que possível;
- Utilizar recursos recicláveis e reciclar materiais em fim de vida do edifício;
- Proteger os sistemas naturais;
- Eliminação de materiais tóxicos e os subprodutos em todas as fases do ciclo de vida;
- Fomentar a qualidade ao criar o ambiente construído.

No ano de 1999, foi adaptada pelo CIB, a Agenda 21 sobre a construção sustentável. Esta Agenda 21 envolveu vários países com vista a desenvolver princípios para a construção sustentável. Desta forma possibilitou ao debate sobre o desenvolvimento e construção sustentável, utilização de recursos, viabilidade económica destes no mercado, processos construtivos, desenvolvimento social, entre outros, permitindo assim aprofundar conhecimentos relacionados com a eficiência energética nos edifícios, a conservação da água potável e a utilização de materiais que tenham em conta a preservação do ambiente, de modo a contribuir para um desenvolvimento sustentável [45].

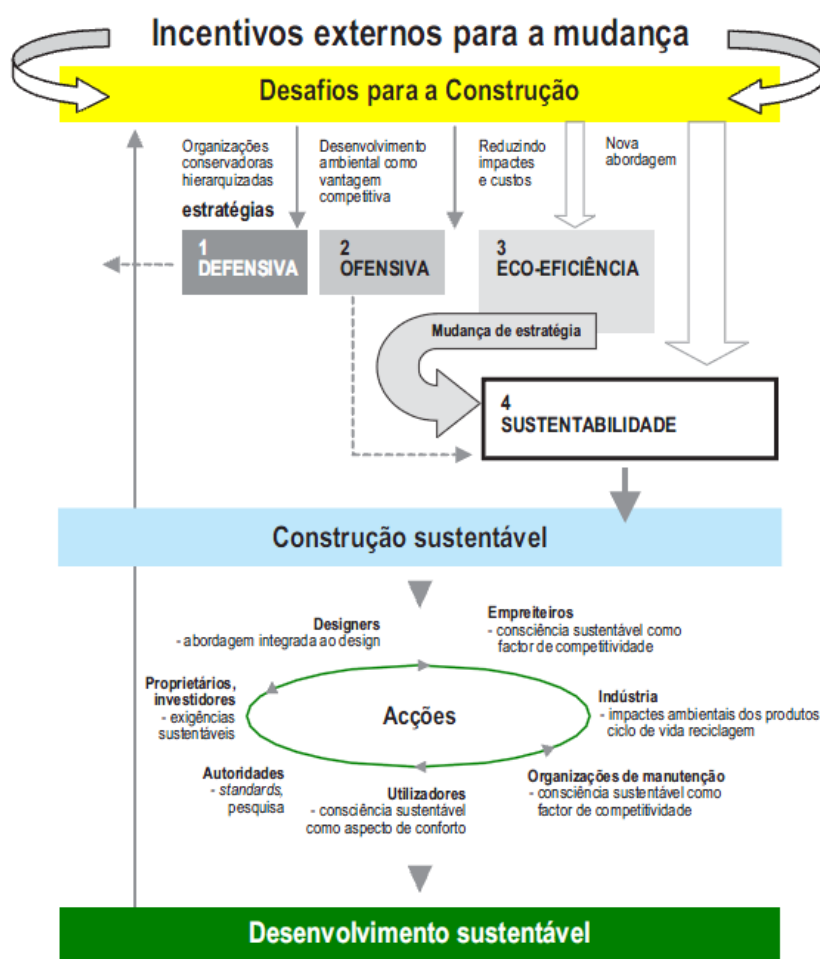


Figura 2.32 - Desafios e Acções – Agenda 21 para a construção sustentável [8]

Também segundo o autor Manuel Pinheiro, a construção sustentável considera os materiais, o solo, a energia e a água como os recursos mais importantes, fazendo estes parte integrante do ciclo de vida da construção. Deve ser encontrada a eficiência nos sistemas e nos materiais, de forma a resultar em menores utilizações de energia e também num aumento da vida dos edifícios para além dos tradicionais 50 anos [8].

Por sua vez, Miguel Amado defende que a construção sustentável procura responder às necessidades actuais de forma a minimizar os impactos ambientais através da concretização de vários objectivos, tais como, o aumento do ciclo de vida das construções, economia de energia, água e materiais, utilização de materiais reutilizáveis de origem natural e local e reciclagem de resíduos resultantes do final de vida das construções [39].

A construção sustentável representa então uma nova maneira de equacionar a concepção, a construção, a operação e a desconstrução/demolição. Na perspectiva tradicional as preocupações centram-se na qualidade do produto, no tempo despendido e nos custos associados. A construção sustentável som a essas temáticas as preocupações ambientais relacionadas com o consumo de recursos, as emissões de poluentes, a saúde e a biodiversidade, o que constitui um novo paradigma cujo desafio principal passa por contribuir para a qualidade de vida, para o desenvolvimento económico e para a equidade social [8].

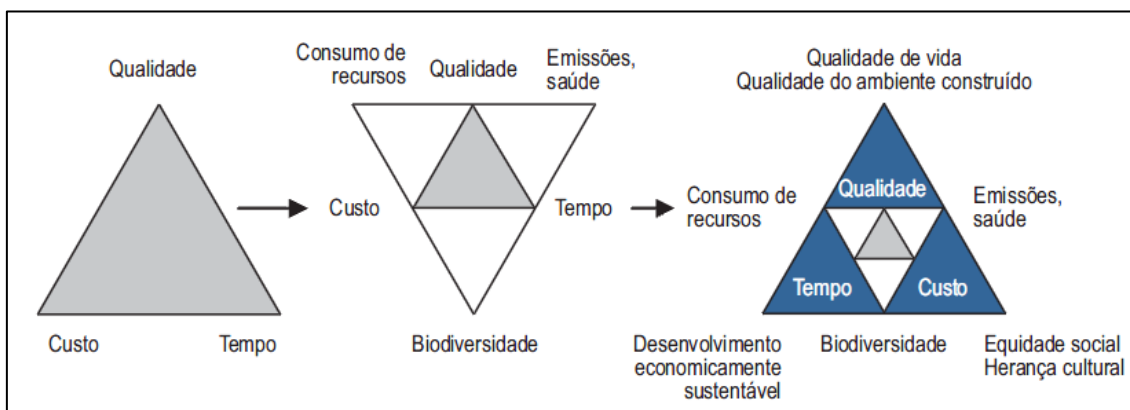


Figura 2.33 - Evolução das preocupações no sector da construção civil [8]

É possível então apresentar uma lista de princípios e prioridades ao nível da construção sustentável:

- Os edifícios devem ser sempre construídos de modo a assegurar uma gestão eficiente dos consumos energéticos e de água;
- Deve ser assegurada a salubridade dos edifícios, salvaguardando o conforto ambiental no seu interior, através da introdução e maximização da iluminação e ventilação natural;
- Maximizar a durabilidade dos edifícios de forma a aumentar o ciclo de vida dos mesmos, sendo que dessa forma os impactos ambientais produzidos serão amortizados durante um período de tempo maior;
- Planear a conservação e manutenção dos edifícios;

- Utilizar materiais eco eficientes (materiais com baixo impacto ambiental durante todo o ciclo de vida);
- Apresentar baixa massa de construção de forma a reduzir a quantidade de recursos naturais incorporados;
- Minimizar produção de resíduos;
- Ser económica;
- Garantir condições dignas de higiene e segurança nos trabalhos de construção.

Todos estes princípios e prioridades significam uma forte aliança do Homem com a natureza. De forma a proteger esta última, o Homem deve criar processos e desenvolver estratégias que coloquem em prática o novo conceito de construção sustentável. Cabe então a todos os intervenientes do sector da construção fazer com que este tema seja rapidamente conhecido e posto em prática em todo o processo construtivo.

2.4.2. Conforto ambiental e critérios de sustentabilidade

Em 1927, no Congresso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM), foram apresentados os princípios fundamentais base de um novo processo de construção, sendo eles Luz, Ar, Sol, Espaço, Saúde e Eficiência. Estes aspectos de conforto ambiental, hoje também entendidos de eficiência energética, constituem-se actualmente como elementos estruturantes para o actual conceito de construção sustentável, podendo e devendo ser aplicados na concepção, construção e utilização de edifícios [40].

2.4.2.1. Iluminação

O conforto visual nas nossas casas é uma condição importante a alcançar para promover o nosso bem-estar, a saúde e, também, para aumentar a nossa produtividade.

Este conforto visual tem a ver com a luz natural que nos é possível captar. Essa luz natural, emitida pelo Sol é facilmente assimilada pelo ser humano, o que consequentemente nos permite um menor cansaço ao trabalharmos.

Na fase de concepção de projecto são então determinantes as opções relativas aos seguintes parâmetros [40]:

- Forma e volume do edifício;
- Superfície e características das áreas envidraçadas;
- Orientação solar.

Relativamente à iluminação artificial, deve-se sempre que possível optar por lâmpadas fluorescentes (económicas e de baixo consumo), permitindo uma redução considerável do consumo de energia nos edifícios.

2.4.2.2. *Qualidade do ar*

Uma boa qualidade do ar interior é tida como um dos parâmetros que mais contribui para a produtividade, conforto, saúde e bem-estar. Realça-se o facto de se tratar de um processo complexo, que resulta da interacção entre vários factores tais como a localização do edifício, o clima, o sistema de ventilação (velocidade e caudal de renovação do ar), as fontes de poluentes e ainda o número de ocupantes do edifício.

Das possíveis causas que estão na origem dos problemas associados à Qualidade do ar interior destacam-se as fontes de odores e contaminantes, a concepção, funcionamento e manutenção do sistema AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), a relação entre a fonte e os locais das queixas e dos ocupantes.

A construção sustentável actua sobre este parâmetro de conforto implementando [40]:

- Uma adequação espacial dos compartimentos e organização funcional, tendo em conta o número de utilizadores e dos usos;
- Condições optimizadas de ventilação preferencialmente através de sistema automático natural/natural;
- Selecção de materiais e equipamentos com produção mínima de resíduos ou poluição atmosférica.

2.4.2.3. *Humidade do ar*

Os níveis de humidade do ar são determinantes para a percepção de conforto ambiental, estando associados ao grau de conforto térmico existente no interior das construções. É essencial assegurar uma permanente renovação do ar, proporcionada por ventilação natural adequada [40].

As consequências de níveis desadequados de humidade do ar propiciam o aparecimento de patologias construtivas com efeitos directos negativos na saúde dos utilizadores, e o recurso adicional a equipamentos mecânicos de controlo de humidade que introduzem consumos energéticos dispensáveis [40].

Desta forma, no projecto de construção sustentável devem ser previstos e tidos em conta [40]:

- Sistemas de ventilação natural, correctamente dimensionados e adaptáveis a diferentes condições atmosféricas, nomeadamente aos períodos de verão e de inverno;
- Selecção de materiais de revestimento adaptáveis ao comportamento higrométrico da envolvente exterior e interior.

2.4.2.4. Temperatura

A temperatura é o factor mais importante ao nível do conforto ambiental, estando associado aos principais consumos energéticos registados na utilização de edifícios (ao longo das diferentes estações do ano necessidades de energia para climatização).

O valor da temperatura é condicionado por factores como a Inércia da construção, a área de exposição solar directa ou o caudal e velocidade de renovação do ar. Estes são factores muito importantes que devem ser tidos em conta no processo de construção sustentável [40].

2.4.2.5. Ruído

A ausência de conforto acústico no interior de uma habitação condiciona fortemente a nossa saúde e a nossa produtividade.

Os instrumentos de controlo acústico que devem ser integrados no processo de construção sustentável compreendem [40]:

- Volumetria e configuração formal dos edifícios e espaços;
- Dimensão acção entre as partes;
- Sistema construtivo;
- Materiais de revestimento e acabamento de superfícies.

2.4.2.6. Organização espacial e qualidade arquitectónica

A organização funcional dos edifícios, assim como a ergonomia do espaço e a qualidade dos materiais e aspectos construtivos (qualidade arquitectónica) contribuem em grande parte para o conforto do ser-humano, influenciando a sua qualidade de vida.

Estes aspectos devem então ser vistos como parâmetros fundamentais da sustentabilidade a par dos restantes critérios biofísicos de conforto ambiental, tanto na fase de concepção de projecto como nas fases de construção e de uso [40].

2.4.2.7. Gestão da água

Como já foi referido anteriormente, a água é um recurso extremamente escasso e precioso que deve ser gerido de forma eficiente e justa para com as gerações actuais e as gerações vindouras.

Os edifícios podem e devem ser concebidos e construídos de forma a otimizar consideravelmente a procura de água potável, durante a fase de operação. Por um lado canalizando a água potável apenas para os usos que precisam de todas as suas qualidades e, por outro lado, reduzindo a quantidade necessária para o uso que lhe é dado.

Podem ser adoptadas diversas medidas que permitam a redução do consumo de água nas habitações, como por exemplo a utilização de torneiras misturadoras monocomando, sanitas equipas com descarga selectiva, electrodomésticos com certificação classe A (consumo de água)

Toda esta água que utilizamos deve ser reciclada e reutilizada, assim como toda a água da chuva que cai nas coberturas dos edifícios deve ser recolhida em depósitos e, com o devido tratamento, reutilizada para as funções que não carecem de água potável.

2.4.3. Análise de ciclo de vida do edifício

A avaliação de ciclo de vida (ACV, em inglês LCA, acrónimo da expressão Life-Cicle Assessment) foi, originalmente, definida pela SETAC - Society for Environmental Toxicology and Chemistry - como um "processo para avaliar as implicações ambientais de um produto, processo ou actividade, através da identificação e quantificação dos usos de energia e matéria e das emissões ambientais, avaliar o impacte ambiental desses usos de energia e matéria e das emissões e identificar e avaliar oportunidades de realizar melhorias ambientais" [8].

Esta avaliação parte da premissa que todos os estágios da vida de um produto geram impacte ambiental e devem ser analisados, incluindo portanto todo o seu ciclo de vida, abrangendo as seguintes fases [8]:

- Extracção e processamento de matérias-primas;
- Transformação, o transporte e a distribuição;
- Uso, reutilização e manutenção;
- Reciclagem e deposição final.

Os procedimentos da ACV são parte integrante da série ISO 14000 – “Normas de gestão ambiental em empresas”, desenvolvidas pela International Organization for Standardization (ISO).

Na norma NP EN ISO 14040: 2008 - “Gestão ambiental Avaliação do Ciclo de Vida princípios e enquadramento” podem ser consultados os termos e definições actualmente utilizados em Portugal na descrição da metodologia de ACV.

De acordo com esta norma a ACV consiste em quatro fases:

- Definição de objectivos e âmbito
- Análise de Inventário
- Avaliação de Impactes
- Interpretação

Estas fases encontram-se interligadas entre si, tratando-se de um procedimento iterativo, onde a experiência adquirida no final pode contribuir para melhorar as fases iniciais.

2.4.3.1. Processo de construção sustentável – Processo Operativo

No sentido de minimizar os impactes sobre o meio ambiente, recursos naturais e energéticos, e tentando sempre melhorar a qualidade de conforto dos edifícios, surge a necessidade de adoptar um novo processo de construção que abrange todo o ciclo de vida do edifício em todas as suas fases: projecto, construção, utilização, manutenção e monitorização [40].



Figura 2.34 - Ciclo de vida do processo de construção sustentável [41]

Deste modo, a construção sustentável deve possuir um processo operativo que conduza a uma efectiva aplicação às diferentes fases do ciclo de construção do edifício. O processo metodológico tem a sua estrutura desenvolvida em quatro fases de intervenção – Projecto,

Construção, Utilização / Exploração e Manutenção – que tem a sua implementação efectuada por medidas de intervenção orientadas no sentido da sustentabilidade [40].

É fundamental que esse processo possa estabelecer ainda uma adaptação entre a construção de edifícios e o seu ambiente envolvente e as actuais necessidades da população na procura da melhoria da qualidade de vida. Esta adaptação no processo permitirá contribuir para a redução de consumos, a racionalização de eficiências e a preservação de recursos naturais, salvaguardando-os e deixando-os disponíveis para o usufruto das futuras gerações [40].

De referir que sendo este um processo cíclico que abrange todas as fases do ciclo de vida de um edifício, deve assegurar-se que os princípios da sustentabilidade são bem aplicados e respeitados em todas as fases. Para que isto seja possível deve ser efectuada uma monitorização constante, que vai garantir que todas as soluções construtivas e equipamentos estão de acordo com os objectivos propostos no início do processo de construção do edifício [39].

Tabela 2.1 - Fases e medidas de intervenção do processo de construção sustentável (adaptado de [41])

Fases de Intervenção	Medidas de Intervenção
Projecto	<ul style="list-style-type: none"> - Adopção de soluções passivas para a conservação de energia e conforto ambiental - Sistema construtivo detalhado e exacta compatibilidade entre as especialidades do projecto
Construção	<ul style="list-style-type: none"> - Processo construtivo rigoroso e detalhado - Critério de selecção de produtos e materiais de construção (eco-produtos)
Utilização	<ul style="list-style-type: none"> - Impactes ambientais temporários - Controlo de usos e actividades - Procedimentos de utilização
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - Definição de rotinas e procedimentos - Monitorização do nível de eficiência

Através da implementação de métodos de acções passivas, processos construtivos rigorosos e detalhados, selecção e utilização de materiais mais ecológicos e também de uma eficiente componente de avaliação e monitorização, pretende-se então atingir os princípios do Desenvolvimento Sustentável [40].

2.4.3.2. Desconstrução

Desconstrução ou demolição é uma fase desenvolvida pelo sector da construção civil, ainda pouco aplicada em Portugal.

A desconstrução é um processo que se caracteriza pelo desmantelamento cuidado de modo a possibilitar a recuperação de materiais e componentes da construção, promovendo a sua reutilização e reciclagem e surge como resposta à demolição indiferenciada que cresceu rapidamente nas últimas décadas e que é responsável pela criação de grandes quantidades de resíduos. Este processo permite a valorização e reutilização de elementos e materiais de construção que, de outra forma, seriam tratados como resíduos sem qualquer valor e removidos para aterros ou locais de depósito por vezes não autorizados para esse fim [76].

Os impactes ambientais dependem da forma como a intervenção é efectuada e da presença, ou não, de uma perspectiva de reutilização, ou reciclagem dos resíduos produzidos, atenuando-se assim as necessidades de vazadouros e conduzindo a uma menor procura de novos materiais, não deixando, no entanto, de existir consumos de energia, e pontualmente, emissões na reciclagem de produto de demolição [8].

A sustentabilidade desta fase é então intrínseca às decisões tomadas nas fases de projecto e construção. Estas fases devem garantir uma gestão de resíduos de construção e demolição eficiente através:

- Da adopção de materiais com elevada capacidade de reciclagem;
- Da adopção de materiais com maior capacidade de reutilização;
- Da adopção de materiais que não originem RCD com substâncias perigosas;
- Da aplicação dos materiais que facilite desconstrução e reduza consumos de energia.

A nível Europeu, este fenómeno é já bastante comum e usual, levando a que os resíduos de construção rondem os 10-20%, os resíduos de remodelação, reabilitação e renovação 30-50% e os resíduos de demolição 40-50%. Em França, por exemplo, cerca de 43% dos resíduos da construção civil provêm desta fase de desconstrução [23].

2.4.4. Sistemas de certificação ambiental do edifício sustentável

Nos últimos anos, a importância do ambiente e a noção de sustentabilidade na construção, os princípios, as técnicas e as formas de o avaliar, têm evoluído significativamente, constituindo um importante desafio num mercado cada vez mais competitivo [40].

No sentido de dar resposta às necessidades de avaliação e certificação ambiental dos edifícios, para ajustar a sua realidade e especificidade, múltiplos países têm vindo a

desenvolver sistemas próprios de avaliação e certificação ambiental dos edifícios. Os sistemas mais difundidos actualmente existentes que certificam ambientalmente os edifícios são no Reino Unido, o sistema BREEAM e nos Estados Unidos da América, o sistema LEED.[8].

Em Portugal foi criado o sistema LiderA que evidencia quais os aspectos ambientais a considerar para o bom desempenho do edificado no sentido da sustentabilidade, bem como os mecanismos que permitem avaliar e reconhecer/certificar esse desempenho ambiental [40].

Actualmente, os sistemas e ferramentas de avaliação e reconhecimento da construção sustentável têm como principal objectivo garantir a sustentabilidade dos edifícios durante todo o seu ciclo de vida (planeamento e concepção, construção, operação e demolição), promovendo e tornando possível uma melhor interligação entre os parâmetros ambientais, sociais, funcionais e económicos [40].

2.4.4.1. Sistema BREEAM - Reino Unido

O primeiro e mais conhecido sistema de avaliação de desempenho ambiental é o BREEAM (Building Establishment Environmental Assessment Method), desenvolvido no Reino Unido no início da década de 90 por investigadores do BRE (Building Research Establishment) e do sector privado, em parceria com a indústria, com o objectivo da especificação e avaliação do desempenho dos edifícios [42].

A avaliação através do Sistema BREEAM funciona à base da atribuição de créditos ao edifício, sempre que se verifique que determinados requisitos, organizados em categorias, são cumpridos. Às categorias em causa são atribuídos pesos específicos, de acordo com a relevância determinada pelo sistema para a tipologia de edifício em causa. O conjunto de créditos e pesos de categorias permite assim obter um índice de desempenho ambiental do edifício [8].

Este método promove não só a orientação para minimizar os efeitos negativos dos edifícios nos locais onde se inserem como visa fomentar um ambiente interno saudável e confortável. Os principais objectivos deste método são [45]:

- Diferenciar os edifícios de menor impacte ambiental no mercado;
- Incentivar a utilização de melhores práticas ambientais em todas as fases do ciclo de vida do edifício;
- Criar parâmetros e padrões que não são impostos na legislação;
- Realçar a importância e os benefícios de edifícios com menor impacte ambiental aos proprietários, ocupantes, projectistas e operadores.

Este sistema apresenta-se como um conjunto de instrumentos a serem utilizados por diferentes agentes envolvidos na construção, utilização e gestão dos edifícios, com o objectivo de melhorar o desempenho ambiental do edifício, tendo em conta os benefícios que daí advêm. Este sistema já permite avaliar o desempenho ambiental de vários tipos de construção, nomeadamente habitações (EcoHomes), edifícios para escritórios (Offices), unidades industriais (Industrial BREEAM), edifícios comerciais (BREEAM Retail) e ainda um sistema aberto para outras tipologias (Bespoke BREEAM) [8].

No caso dos edifícios habitacionais, o sistema existente designa-se por EcoHomes. Aplica-se a habitações e prédios de apartamentos, quer construídos de raiz, quer renovados. As categorias consideradas são as seguintes: Energia, Transporte, Poluição, Materiais, Água, Uso do Solo e Ecologia, Saúde e Bem-estar [8].

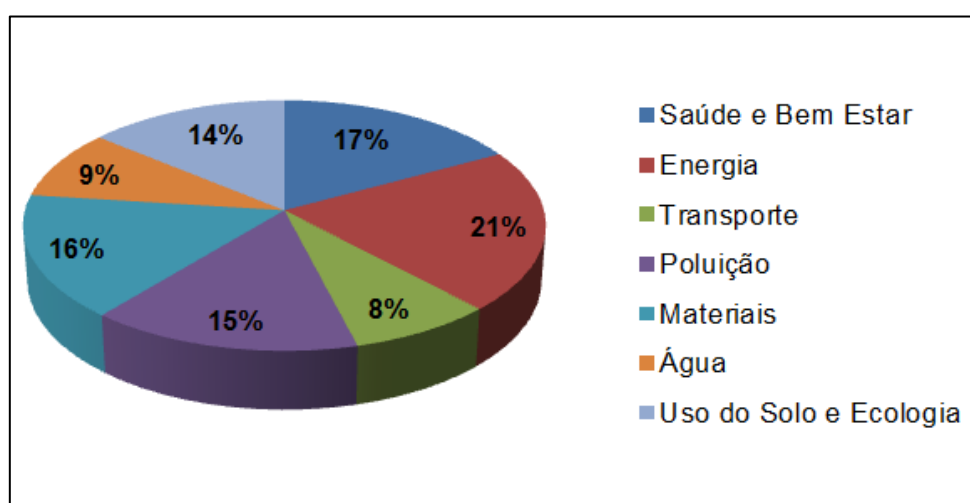


Figura 2.35 - Ponderação das categorias no sistema BREEAM (EcoHomes) (adaptado de [8])

Cada uma destas categorias está dividida em sub-categorias, às quais são atribuídos créditos variáveis e onde são definidos requisitos que o edifício deverá cumprir, para obter créditos. A classificação atribuída a um edifício é contabilizada pela soma de todos os créditos conseguidos nas diversas categorias. Por exemplo, no uso habitacional (EcoHomes) o valor máximo é de 192 créditos [8].

Tabela 2.2 - Níveis de certificação do sistema BREEAM (EcoHomes)

Nível	Requisitos
Certificado	36%-47%
Bom	48%-59%
Muito Bom	60%-69%
Excelente	70%-100%

2.4.4.2. Sistema LEED – EUA

No ano de 1994, surge nos Estados Unidos da América um novo sistema de classificação de desempenho orientado para o mercado que tem por objectivo o desenvolvimento e implementação de práticas de projecto e construção ambientalmente responsáveis. Este sistema foi desenvolvido pelo USGBC (United States Green Building Council) [43].

O Sistema LEED abrange um guia e uma lista de verificação de projecto, na qual estão representadas seis áreas gerais, sendo necessário satisfazer um conjunto de pré-requisitos de desempenho, num total de 69 sub-itens (áreas específicas) pontuáveis e de alguns pré-requisitos de cumprimento obrigatório. Cada uma das áreas gerais (ver gráfico) encontra-se desagregada em áreas específicas e, em alguns casos, em pré-requisitos. Cada uma das áreas específicas é contabilizada com um ou dois pontos, sendo os pré-requisitos de cumprimento obrigatório [8].

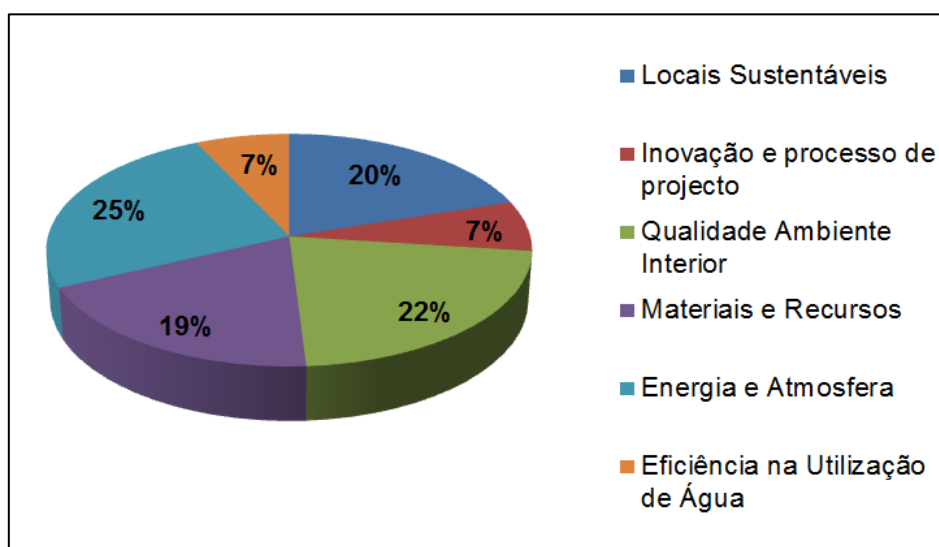


Figura 2.36 - Ponderação das categorias no sistema LEED (adaptado de [8])

Os pontos obtidos levam à atribuição de diversos níveis de certificação. Para o edifício obter o certificado LEED tem de garantir o mínimo de 40 pontos de um total de pontos das sete áreas que perfazem 110 pontos [45].

Tabela 2.3 - Níveis de certificação do sistema LEED

Nível	Requisitos em Pontos
Certificado	26 - 32 Pontos
Prata	33 - 38 Pontos
Ouro	39 - 51 Pontos
Platina	52 - 69 Pontos

2.4.4.3. Sistema LiderA – Portugal

O LiderA (acrónimo de Liderar pelo ambiente na procura da sustentabilidade na construção) é um sistema de avaliação e reconhecimento voluntário de construção sustentável e ambiente construído, desenvolvido em Portugal. Foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico, com o suporte da IPA – Inovação e Projectos em Ambiente, Lda [44].

O sistema LiderA assenta no conceito de reposicionar o ambiente na construção, na perspectiva da sustentabilidade, assumindo-se como um sistema para liderar pelo ambiente, estando organizado em vertentes que incluem áreas de intervenção e que são operacionalizadas através de critérios que permitem efectuar a orientação e a avaliação do nível de procura da sustentabilidade [44].

Para o LiderA a procura de sustentabilidade nos ambientes construídos assenta em seis princípios a serem adoptados, os quais abrangem as seis vertentes que se subdividem depois em vinte e duas áreas) consideradas no sistema.

Os princípios sugeridos para a procura da sustentabilidade são os seguintes [44]:

- Valorizar a dinâmica local e promover uma adequada integração;
- Fomentar a eficiência no uso dos recursos;
- Reduzir o impacto das cargas (quer em valor, quer em toxicidade);
- Assegurar a qualidade do ambiente, focada no conforto ambiental;
- Fomentar as vivências sócio-económicas sustentáveis;
- Assegurar a melhor utilização sustentável dos ambientes construídos, através da gestão ambiental e da inovação

As seis vertentes subdividem-se em vinte e duas áreas [44]:

- Integração local, no que diz respeito ao Solo, aos Ecossistemas naturais e Paisagem e ao Património;

- Recursos, abrangendo a Energia, a Água, os Materiais e os recursos Alimentares;
- Cargas ambientais, envolvendo os Efluentes, as Emissões Atmosféricas, os Resíduos, o Ruído Exterior e a Poluição Ilumino-térmica;
- Conforto Ambiental, nas áreas da Qualidade do Ar, do Conforto Térmico e da Iluminação e acústica;
- Vivência sócio-económica, que integra o Acesso para todos, os Custos no ciclo de vida, a diversidade Económica, as Amenidades e a Interacção Social e Participação e Controlo;
- Gestão Ambiental e Inovação.

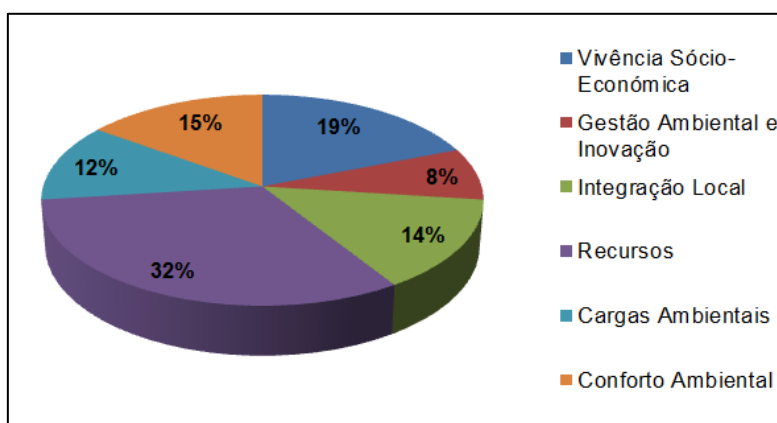


Figura 2.37 - Ponderação por vertentes do sistema LiderA (versão 2.0) (adaptado de [44])

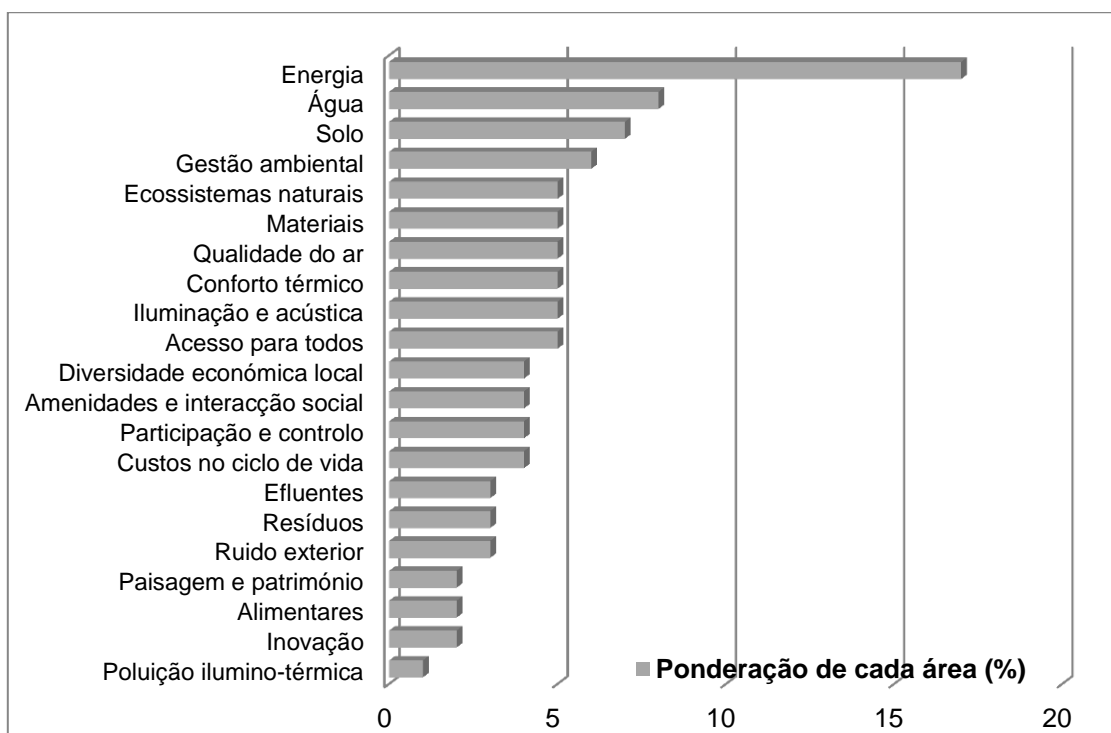


Figura 2.38 - Ponderação em % para as 22 áreas do sistema LiderA (versão 2.0) (adaptado de [44])

O sistema classifica o desempenho de A a G, sendo que o nível E representa a prática usual e o nível A representa o melhor desempenho ambiental. Para o sistema LiderA o grau de sustentabilidade é mensurável e passível de ser certificado em classes de bom desempenho, sendo elas C, B, A, A+ e A++ [44].

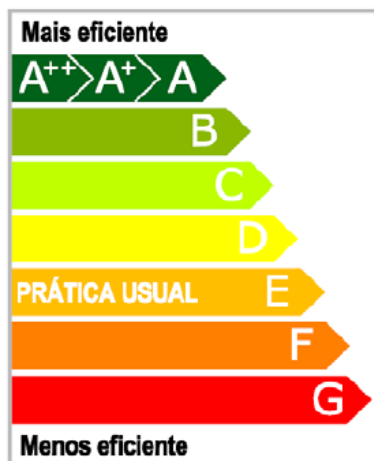


Figura 2.39 - Níveis de desempenho global – sistema LiderA [44]

2.4.4.4. Sustainable Building Tool

O Sustainable Building Tool (antigamente designado por GBC – Green Building Challenge), promovido pela International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE), teve como principal objectivo desenvolver um sistema que permitisse avaliar o desempenho ambiental dos edifícios a nível internacional. O SBTool caracteriza-se por ciclos sucessivos de pesquisa e difusão de resultados, contando com a participação de diversos países na procura da melhoria continua deste sistema de avaliação [8].

Este sistema permite avaliar o desempenho ambiental e energético de edifícios de diferentes tipos. Uma das características que o diferencia dos outros sistemas já existentes, é que foi concebido desde o início de forma a permitir aos utilizadores alterarem muitos dos parâmetros introduzidos, de acordo com o tipo e estado dos edifícios que pretendem avaliar, bem como a região onde estes se inserem [8].

Deste modo, um requisito principal do SBTool é ter uma estrutura global, mas com adaptações feitas pelas diferentes equipas nacionais de trabalho, de acordo com os critérios nacionais ou regionais, para o edifício em estudo. Uma característica da flexibilidade deste sistema é que permite à equipa que está a fazer a avaliação adaptar o peso que atribui a um determinado parâmetro, de acordo com aquilo que é típico daquela região. Por exemplo, para

uma região onde os recursos hídricos sejam escassos, o peso atribuído pela equipa de avaliação será diferente do que seria se o edifício estivesse numa região onde esse recurso fosse abundante [8].

Para realizar a comparação internacional de edifícios, o SBTool utiliza indicadores de sustentabilidade ambiental, de entre os quais o consumo anual de energia (energia primária incorporada e energia primária não renovável), o consumo anual de água (água da chuva e água potável), o consumo (área) de solo, emissão anual de GEE e massa total de materiais reutilizados usados no projecto [74].

A pontuação das categorias é multiplicada pelos factores de ponderação correspondentes definidos pelas equipas de avaliação segundo condições específicas do contexto em que se situa o edifício estudado. Aas categorias são avaliadas segundo uma escala de graduação de desempenho que pode ser negativo. O zero da escala corresponde ao desempenho de referência (definido por benchmarking através da colaboração das equipas dos mais diversos países) [74].

2.4.5. Benchmarking Ambiental

Benchmarking é um processo de melhoria do desempenho através da identificação, compreensão, adaptação e implementação de melhores práticas e processos que se encontram dentro e fora de uma organização. Envolve a criação de parcerias para troca de informações sobre processos e medições, resultando na fixação de metas de melhoria realistas. Trata-se de uma ferramenta muito importante de forma a ajudar uma organização no seu desenvolvimento estratégico, conduzindo a vantagens operacionais e económicas através da melhoria das suas práticas e processos e também a níveis mais elevados de competitividade. É um instrumento susceptível de conduzir a melhorias de desempenho rápido, que de outra forma levariam mais tempo a alcançar [73].

O Benchmarking diz respeito essencialmente a questões financeiras e de gestão das organizações, mas está a tornar-se um elemento importante para a gestão ambiental das organizações.

O **Benchmarking ambiental** surge então como um instrumento eficaz de forma a analisar as práticas relacionadas com o ambiente e os indicadores que levam a um desempenho ambiental superior, ao mesmo tempo que melhoram o desempenho económico. Em síntese, trata-se de uma ferramenta que ajuda as organizações a atingir um bom desempenho ambiental aprendendo com os melhores nesta área, tentando encontrar o modo como essas organizações atingem elevados desempenhos na gestão ambiental e eco-eficiência e tentar adaptar essas práticas à sua própria organização [73].

Do ponto de vista da construção civil, os exercícios de Benchmarking têm muita importância pois permitem comparar o desempenho ambiental e de eco-eficiência entre empresas do sector com actividades semelhantes, levando-as a uma situação de melhoria continua e melhores desempenhos.

2.4.6. Selecção dos materiais de construção sustentáveis

Até à actualidade, os materiais de construção têm sido seleccionados tendo em conta fundamentalmente parâmetros funcionais, privilegiando factores como a rapidez de execução construção e a redução dos custos associados. Actualmente é necessário que exista uma mudança de critérios na selecção dos materiais e produtos de construção tendo em mente uma perspectiva mais ambiental [47].

A escolha dos materiais de construção deve privilegiar então os materiais que durante todo o seu ciclo de vida, desde a fase da extracção até à devolução ao meio ambiente, possuem um baixo impacte ambiental.

Será necessário formar os técnicos (arquitectos, engenheiros, etc..) de modo a permitir uma percepção mais realista e abrangente de cada material ou produto tendo em conta o longo e complexo período ciclo de vida, desde a extracção de matérias-primas, transporte, transformação, utilização até uma possível reutilização ou reciclagem [47].

Os novos critérios de selecção de materiais e produtos, em função do ciclo de vida dos mesmos, poderão ser definidos segundo três fases globais [32]:

- Fase de pré-construção (ou do processo de manufacturação e produção dos materiais);
- Fase de construção e utilização dos edifícios (inclui actividades de manutenção e reparação);
- Fase de pós-construção (abrange todos os processos de reutilização, reciclagem ou deposição).

Tabela 2.4 - Critérios de Selecção de materiais por fase (adaptado de [32])

Fases	Critérios de Selecção
Pré-Construção	<ul style="list-style-type: none"> - Materiais pouco processados ou com processos de fabrico simples, reduzindo produção de resíduos; - Materiais e processos de fabrico com menor consumo de energia, reduzindo a energia incorporada; - Materiais provenientes de fontes renováveis, possibilitando a conservação da natureza; - Materiais e processos de fabrico menos poluentes em termos de libertação de produtos químicos e emissão de GEE; - Materiais locais, reduzindo o consumo de energia relacionado com os transportes e promovendo ainda as economias locais; - Materiais recicláveis e que incorporem resíduos provenientes de outras indústrias, de forma a reduzir o consumo de recursos naturais.
Construção e utilização	<ul style="list-style-type: none"> - Materiais não tóxicos de forma a garantir uma boa qualidade do ar no interior dos espaços e a não poluição dos ecossistemas; - Materiais com desempenho energético eficaz, no sentido de minimizar a utilização de energia durante a utilização do edifício; - Materiais duráveis, que necessitem de menos recuperação ou substituição, minimizando recursos e produção de resíduos.
Pós-construção	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação da biodegradabilidade do material; - Materiais recicláveis, sendo aproveitados como recursos para produção de novos produtos; - Materiais reutilizáveis, dependendo da possibilidade da sua remoção e nova aplicação em outros locais;

2.4.6.1. *Uso de materiais com baixa toxicidade*

A toxicidade de um material expressa os efeitos nocivos que este pode infligir no ser humano e no ecossistema que o rodeia. Cada material ou produto que seja utilizado num edifício deve ser base de uma análise relativamente às suas especificações técnicas e ao seu processo de fabrico, de forma a procurar-se identificar compostos químicos tóxicos [16].

A qualidade do ar interior nos edifícios é afectada não só pelas fontes exteriores (emissões gasosas e partículas sólidas), mas também pelas fontes interiores, com a libertação de substâncias tóxicas proveniente dos materiais de construção [16].

A libertação para o ar interior das habitações de elevadas quantidades de substâncias tóxicas pode provocar inúmeros problemas de saúde como a irritação da pele, olhos e vias respiratórias; distúrbios cardíacos, digestivos, renais ou hepáticos; dores de cabeça e mal-estar generalizado; distúrbios do sistema nervoso (perturbações de memória, atenção, concentração, stress e ansiedade); perturbações do sistema hormonal e desenvolvimento de cancro das fossas nasais, dos seios frontais e pulmões [1].

São diversos os tipos de poluentes produzidos no interior do edifício e que contribuem para a degradação da qualidade do ar interior [48]:

- Compostos orgânicos voláteis (COV), emitidos pelos materiais, componentes e mobiliário existente no interior do edifício;
- Compostos orgânicos voláteis (COV), emitidos pelos produtos de higiene utilizados para manutenção no interior do edifício;
- Fibras que se desagregam de materiais têxteis e sistemas de isolamento;
- Poeiras de terra, materiais biológicos (fungos e bactérias) e gases libertados pela actividade biológica;
- Pó e outras partículas libertadas aquando da utilização de aerossóis e operações de acabamento e manutenção de certos materiais e componentes (raspagem e lixagem por exemplo)

É da responsabilidade dos projectistas a selecção de materiais e componentes que apresentem baixa toxicidade, de forma a evitar que a utilização destes materiais possa afectar a saúde e a normal actividade dos ocupantes do edifício. Devem ser analisadas as fichas técnicas dos diversos materiais, componentes de construção (isolamentos, revestimentos, pinturas, vernizes, madeiras) de forma a reduzir-se a integração de substâncias tóxicas nos edifícios [16].

2.4.6.2. *Uso de materiais com baixa Energia Incorporada*

A energia incorporada nos materiais corresponde à quantidade de energia necessária para a sua produção, transporte, aplicação em obra, manutenção e demolição. Esta energia pode variar entre 6 a 20% da quantidade total de energia consumida durante a vida útil de um edifício, sendo que está dependente dos sistemas construtivos utilizados, do clima, do número de utilizadores do edifício e do grau de conforto exigido [32].

Cerca de 80% deste valor corresponde à energia primária dos materiais (PEC – Primary Energy Consumption), que resulta do somatório da energia consumida durante a extracção de matérias-primas, seu transporte para as unidades de processamento e no próprio processamento [32].

Os restantes 20% correspondem à energia que é consumida no decurso do transporte dos materiais de construção para o estaleiro de obra, a despendida durante a construção para a elevação e montagem e a necessária também para a manutenção e reabilitação dos elementos de construção e para o desmantelamento e demolição dos edifícios no final do seu ciclo de vida.

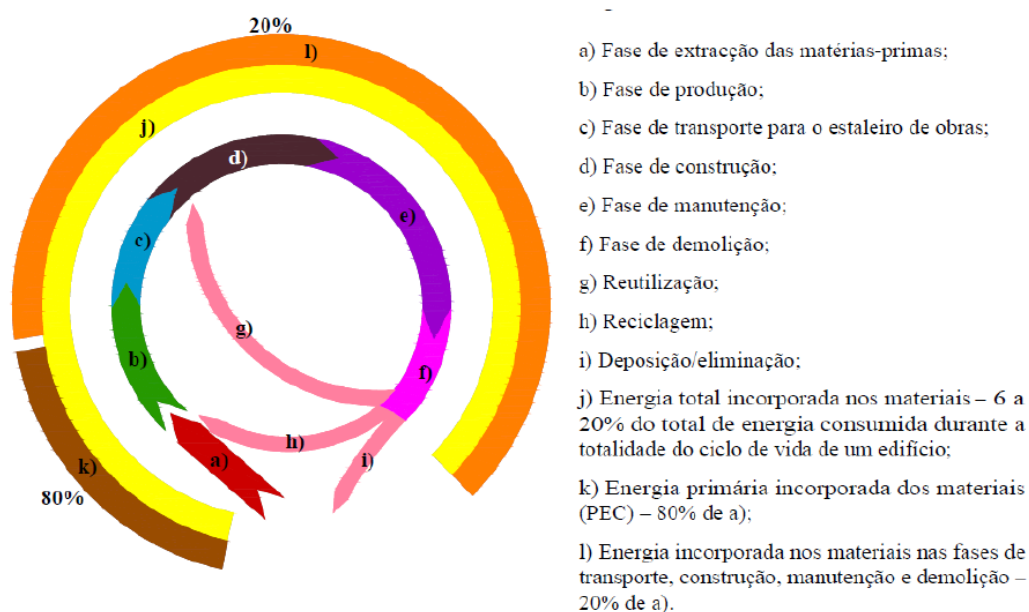


Figura 2.40 - Ciclo de vida dos materiais e consumos de energia associados [16]

De forma a ser possível uma redução da energia incorporada nas construções, devem seguir-se os seguintes critérios na selecção dos materiais de construção [16]:

- Devem ser utilizados materiais locais, porque no transporte até à obra vão ter de percorrer distâncias mais curtas, o que vai fazer reduzir o valor da energia incorporada no material.
- Devem ser utilizados materiais de construção que possuam menor massa. Quanto menor for a massa de um material/edifício, mais pequena vai ser a sua energia incorporada.
- Devem ser utilizados materiais reutilizáveis, pois estes não passam por processos de transformação que impliquem grandes gastos energéticos.
- Devem ser utilizados materiais com grande durabilidade. Por vezes pode ser até mais vantajosa a selecção de um material com maior quantidade de energia

incorporada, desde que possua um ciclo de vida maior. O custo ambiental é assim amortizado num maior número de anos, não sendo tão prejudicial. Deve sempre por isso ter-se em conta a totalidade do ciclo de vida do material.

Apesar da quantidade de energia incorporada num material ser um indicador muito importante para a selecção dos materiais, este não pode ser analisado independentemente de factores como o comportamento passivo dos edifícios. Não se deve esquecer nunca que a maior quantidade de energia consumida está associada ao funcionamento (apenas 20% da energia total consumida durante a vida útil, corresponde à energia incorporada). Por exemplo, nunca se deve seleccionar um material com baixa energia incorporada e com um mau comportamento térmico, pois assim o consumo energético durante a sua vida útil vai ser bastante superior.

Outro aspecto que pode prejudicar a análise baseada na energia incorporada são as diferenças na eficiência energética dos fabricantes de um mesmo produto, o que dificulta a escolha dos materiais pela energia incorporada média, para uma determinada região [74].

2.4.6.3. *Uso de materiais Recicláveis e Reutilizáveis*

A selecção dos materiais deve basear-se no seu potencial de reutilização e reciclagem. Cada material possui um determinado potencial de reutilização e reciclagem que é função da sua capacidade de vir a ser utilizado novamente como recurso.

Apesar de tanto a reutilização como a reciclagem evitarem a descarga de produtos no meio ambiente, aquando da selecção dos materiais devem preferir-se aqueles que possuem maiores potencialidades de reutilização em detrimento daqueles com algumas potencialidades de reciclagem, pois a reutilização directa consome menor quantidade de energia.

É preferível dar maior ênfase, na selecção dos materiais, à sua capacidade de reutilização e reciclagem em detrimento da energia incorporada. Quanto mais vezes se utiliza um material ou componente, mais baixo será o custo de energia incorporada, pois este acaba por ser amortizado no número de utilizações do material [16].

O uso de materiais reaproveitados, sejam reutilizados ou com conteúdo reciclado, proporciona benefícios ambientais ao reduzir [74]:

- O consumo de recursos virgens
- Os impactos decorrentes da extracção destes recursos;
- A quantidade de resíduos dispostos no meio ambiente.

2.4.6.4. *Uso de materiais que incorporem resíduos provenientes de outras indústrias*

De acordo com alguns investigadores, a forma mais eficiente para a indústria se tornar uma actividade sustentável passa pela incorporação de resíduos de outras indústrias em materiais de construção. Sendo o betão o material mais utilizado na indústria da construção a nível mundial, existe já bastante investigação acerca da utilização de resíduos em betões, como as cinzas volantes escórias de alto-forno, sílica de fumo, cinzas de resíduos vegetais, cinzas de resíduos sólidos urbanos ou resíduos de vidro. Existe também bastante investigação acerca da incorporação em betões como agregados de resíduos provenientes da indústria automóvel, de plástico, têxteis, pó de pedra da indústria de rochas ornamentais, da indústria cerâmica ou até de resíduos provenientes da própria indústria (RCD).

Relativamente a Portugal, muito recentemente o IST estimou em 4,4 Mt os resíduos de RCD produzidos durante 2004, os quais podiam ser reaproveitados e dos quais 95% tiveram como destino a deposição em aterro. Por exemplo, a média europeia de reciclagem situa-se nos 50%, enquanto no caso mais específico da Dinamarca este valor se situa nos 89%, muito por força das taxas de deposição e de extracção de recursos não renováveis. A incorporação de resíduos industriais em betões constitui assim e no caso concreto de Portugal uma maneira eficaz para se alcançar a meta prevista no âmbito do 3º objectivo do ENDS 2015 de reduzir em 12,1% o valor dos resíduos industriais relativamente aos valores do ano de 2001 [50].

2.4.6.5. *Uso de materiais provenientes de fontes renováveis*

A utilização de materiais provenientes de fontes renováveis contribui fortemente para a sustentabilidade da indústria da construção. Neste grupo podem incluir-se materiais como a madeira ou o bambu, desde que o ritmo de renovação destas espécies seja superior ao ritmo do seu consumo pela indústria da construção [50].

2.4.6.6. *Uso de materiais com baixas emissões de GEE*

Os materiais usados na construção têm diferentes quantidades de gases de efeito estufa associados à sua extracção, refinação, produção ou transformação e entrega. Só a produção de cimento e aço é responsável por mais de 10% do valor global anual das emissões de GEE.

É importante que os projectistas, arquitectos e construtores tenham consciência dos impactos provocados no ambiente e que tenham isso em consideração na fase de selecção dos materiais a utilizar, procurando materiais com baixas emissões de COV's, CFC's, HCFC's, etc..

2.4.6.7. *Uso de materiais duráveis*

Quanto maior for a durabilidade de um material, maior será a sua vida útil e consequentemente menor será o seu impacto ambiental. Se por exemplo aumentarmos a durabilidade do betão de 50 para 500 anos, haverá uma redução do seu impacte ambiental na ordem das 10 vezes. A utilização por exemplo de ligantes alternativos ao cimento Portland com uma durabilidade superior a este material, como é o caso dos ligantes activados alcalinamente constitui assim um passo importante no sentido da sustentabilidade da construção [50].

2.4.6.8. *Uso de materiais Locais*

Está provado que uma parte importante da energia incorporada num material está associada ao seu transporte até à obra. Assim, em igualdade de circunstâncias, deve-se preferir materiais de construção produzidos na região pois, terão que percorrer distâncias mais curtas que os provenientes de locais mais longínquos [16].

Por outro lado, ao utilizar materiais produzidos localmente, estamos também a contribuir para o desenvolvimento das economias locais (dimensão social e económica da construção sustentável).

Outra vantagem do uso de materiais locais, é o estabelecer de ligações mais fortes entre as pessoas e o meio ambiente que as circunda, situação que pode ocorrer na medida em que sendo a produção local, as consequências positivas e negativas sobre o meio ambiente são mais evidentes e facilmente percebidas pela população local [74].

3. NOVOS MATERIAIS EFICIENTES NA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

3.1. Conceito

Entende-se por materiais eficientes para a conservação de energia, aqueles que apresentem um desempenho energético eficaz (permitam uma redução das perdas através da envolvente do edifício) e consequentemente uma melhor gestão da utilização de energia (minimizar a utilização de energia durante a fase de utilização do edifício).

3.2. Materiais que contribuem para a redução do consumo de energia

Ao nível do sector dos edifícios a legislação com vista à eficiência térmica dos mesmos, é responsável por uma redução substancial do consumo de energia, contudo existe um limite a partir do qual não é possível conseguir mais reduções nesse âmbito. A utilização de materiais de construção responsáveis por menores consumos energéticos, torna-se assim uma área prioritária de actuação [1].

3.2.1. Isolamentos térmicos naturais

A maioria dos isolamentos térmicos usados correntemente apresenta grandes desvantagens em termos de toxicidade, pelo que a opção por isolamentos de origem natural ou compostos por resíduos de outras indústrias, constitui uma nova etapa rumo a uma construção mais sustentável [1].

A aplicação e a entrada no mercado dos isolamentos naturais, foi várias vezes questionada pela ideia incorrecta que não seriam capazes de competir, em termos de funcionalidades e custos, com os isolamentos sintéticos usados correntemente. Também a indústria química, serviu como um obstáculo à entrada destes produtos no mercado, pois ajudou a manter, durante muitos anos, classificações de comportamento ao fogo melhores por parte dos isolamentos sintéticos, resultados hoje em dia já contrariados [59].

A performance dos isolamentos naturais, em termos de durabilidade e funcionalidade, não fica aquém da dos isolamentos sintéticos, sendo que devido às suas características de reutilização e reciclagem, vão de encontro às questões de sustentabilidade, não reduzindo apenas as perdas de energia, tendo papel muito importante na diminuição das emissões de carbono e principalmente, servindo como “sequestrador” de CO₂ durante a sua fase de extracção [59].

De seguida apresentam-se algumas das possibilidades de isolamentos térmicos naturais que se encontram presentes no mercado actualmente, e que podem contribuir para uma redução dos consumos de energia, mantendo as condições de conforto dos ocupantes e simultaneamente, preservando o ambiente.

3.2.1.1. Isolamentos à base de Cânhamo

O cânhamo é um material durável e que o seu cultivo dispensa a utilização de agro-tóxicos e herbicidas (tipo de produtos que com o decorrer do tempo vai fazendo com que o solo perca toda a sua fertilidade, além de prejudicar os lençóis freáticos). Na sua fase de crescimento contribui para a redução de CO₂ na atmosfera.

Trata-se de uma excelente alternativa na sua utilização como material de construção. É um material saudável, não poluente e eficaz, fornecendo uma forma simples de construção e oferecendo propriedades térmicas e acústicas muito favoráveis. Sendo um material vegetal renovável, é possível manter o dióxido de carbono na estrutura do edifício. Para além disso, é um bom regulador da humidade do ambiente.

As fibras exteriores do cânhamo são muito utilizadas principalmente como isolamento térmico e acústico devido aos valores de coeficiente térmico muito baixo que possui. Estas podem ser encontradas no mercado em forma de painéis flexíveis ou em rolo.

De seguida apresentam-se algumas propriedades do isolamento em cânhamo

Tabela 3.1 - Propriedades do isolamento em cânhamo da marca Thermo-Hemp [60]

Isolamento em cânhamo – Thermo-Hemp	
Massa Volúmica (kg/m ³)	30-42
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,04
Comportamento ao fogo	Euroclasse E
Energia Incorporada (MJ/Kg)	4,32
Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂ /Kg)	0,19

3.2.1.2. Aglomerado de cortiça expandida

A cortiça é um material que desde cedo se distinguiu em aplicações ligadas ao segmento da construção. Actualmente, devido ao desenvolvimento de novos materiais derivados, à melhoria das suas características e à crescente importância da utilização de materiais naturais e

sustentáveis, a sua utilização em revestimentos e isolamentos estendeu-se a todo o mundo [51].

A União Europeia é o maior produtor de cortiça (> 80%), nomeadamente nos países do Sul do Mediterrâneo (regiões semi-áridas que são o habitat perfeito para os sobreiros). Estima-se que Portugal possua mais de 32% da área mundial de floresta de sobreiro e seja o país onde se transforma cerca de 70% da produção mundial [51], [53].

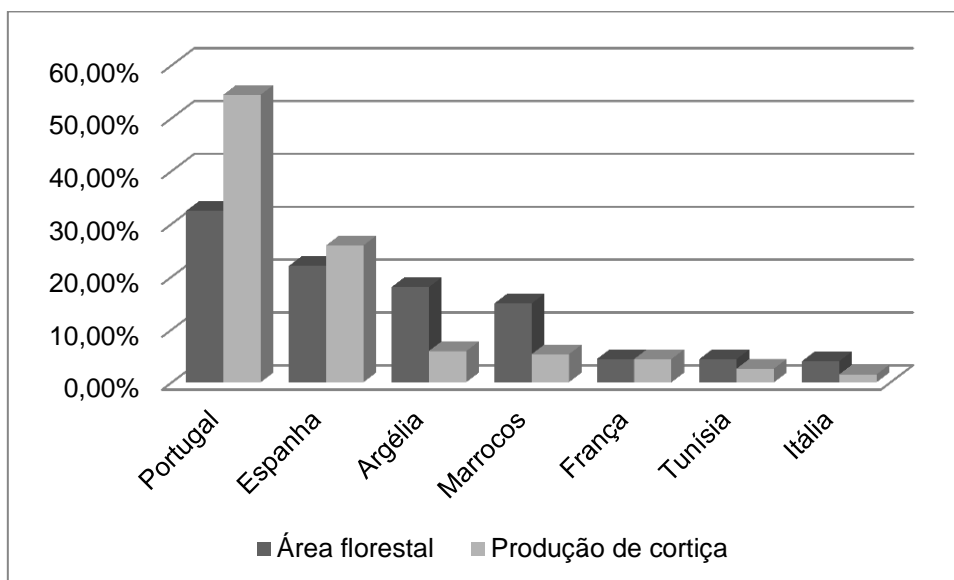


Figura 3.1 - Área de floresta mundial e produção de cortiça (adaptado de [53])

A cortiça é um material leve, elástico e praticamente impermeável a líquidos e gases, isolante térmico e eléctrico e absorvedor acústico e vibrático, sendo também inócuo e praticamente imputrescível, apresentando capacidade de ser comprimido praticamente sem expansão lateral (quando a cortiça é comprimida, as suas células encurvam e dobram, existindo uma posterior recuperação devido à acção de um gás comprimido semelhante ao ar, que ocupa 90% e que actua no interior das células) [51].

A produção e utilização de cortiça mantém o CO₂ retido durante toda a sua vida útil, contribuindo para a redução do efeito de estufa e do aquecimento global [52].

De referir que as quase 100.000 toneladas de materiais de construção em cortiça, exportados por Portugal, no ano de 2007, correspondem a um sequestro de carbono de aproximadamente 200.000 toneladas, valor este equivalente à poluição emitida por cerca de 78.000 veículos por ano [1].

O **aglomerado de cortiça expandida** é então um produto natural, 100% vegetal, que provém da cortiça, mais propriamente da cortiça extraída das operações de limpeza e manutenção dos sobreiros. A produção do Aglomerado de cortiça expandida é feita a partir da

expansão dos grânulos de cortiça, por acção do vapor de água, sendo a sua aglutinação feita com base nas resinas da própria cortiça, se a utilização de quaisquer agentes sintéticos, nomeadamente colas ou solventes. Na produção do calor para a geração do vapor de água não são utilizados combustíveis fósseis, utilizando-se maioritariamente a biomassa decorrente do processo de fabrico, representando esta cerca de 95% da energia consumida [52].

As propriedades físicas e mecânicas da cortiça proporcionam a criação de um produto elástico, permeável ao vapor, de longa durabilidade (sem alteração das suas propriedades) e com excelentes características de isolamento térmico, acústico e de vibrações [52].

Este produto revela-se assim ecológico e ambientalmente aconselhável, uma vez que mantém o carbono sequestrado, na sua produção não tem intervenção de qualquer agente sintético e poluente, contribui para uma substancial redução do consumo de energia e pode ser reciclado no final da sua utilização, sendo ainda 100% biodegradável [52].

Tabela 3.2 - Propriedades do aglomerado de cortiça expandida da marca Isocor [52]

Aglomerado de cortiça expandida – Isocor	
Massa Volúmica (kg/m ³)	105-125
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,04
Comportamento ao fogo	Euroclasse E
Energia Incorporada (MJ/Kg)	4,00
Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂ /Kg)	0,19

3.2.1.3. Isolamento à base de fibras de madeira

A madeira é um material muito usado na construção pois é um material ambientalmente sustentável, que é reciclável, renovável e biodegradável, para além de ser um dos que despende menor energia para a sua transformação.

Deve-se incrementar e incentivar o uso da madeira na construção para gerar aumento da indústria florestal sustentável. Isto, além de afectar favoravelmente a economia, pelos postos de trabalho criados e pela concorrência gerada com os outros materiais, por exemplo, implica também uma maior e mais cuidada gestão da floresta. Ou seja, cria mecanismos faseados de abate das árvores e posterior plantação no lugar das últimas, o que gera armazenamento de CO₂ mais sustentável, uma vez que as árvores captam mais carbono na sua fase de juventude e são abatidas quando atingem a maturidade.

Como material de construção, a madeira é muito conhecida também pelas suas excelentes qualidades térmicas. Durante várias décadas têm sido feitas experiências e combinado

processos de forma a tirar vantagem das suas propriedades naturais, para um eficaz e sustentável isolamento térmico [61].

Os **isolamentos à base de fibras de madeira** são obtidos através dos desperdícios de madeira de serraria (recursos renováveis). É um produto biodegradável, que não apresenta qualquer toxicidade, sendo também um bom retentor de dióxido de carbono. O facto de possuir uma boa permeabilidade ao vapor de água, contribui para a boa qualidade do ar interior. É reutilizável sendo também um excelente regulador de humidade.

Tabela 3.3 - Propriedades do isolamento à base de fibras de madeira da marca SteicoFlex [62]

Isolamento à base de fibras de madeira – SteicoFlex (Jular)	
Massa Volúmica (kg/m ³)	50
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,038
Comportamento ao fogo	Euroclasse E
Energia Incorporada (MJ/Kg)	20,00
Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂ /Kg)	0,98

3.2.1.4. Argila expandida

A argila expandida é um material com propriedades isolantes que é produzido a partir de argila natural. Ao ser aquecida em fornos a altas temperaturas, geram-se gases que provocam a sua expansão e a formação de microporos, que lhe dão leveza e lhe conferem um alto isolamento térmico e acústico. Para além das excelentes propriedades isolantes, as suas principais características são a sua leveza, resistência e incombustibilidade. É um material não inflamável, leve e de fácil aplicação [62].

Tabela 3.4 - Propriedades da argila expandida da marca Argex 3-8 [62]

Argila expandida – Argex 3-8	
Massa Volúmica (kg/m ³)	303
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,11
Comportamento ao fogo	Euroclasse A1
Energia Incorporada (MJ/Kg)	7,2
Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂ /Kg)	0,52

3.2.1.5. Isolamentos à base de celulose

A celulose é a componente fundamental da estrutura dos vegetais, encontrando-se presente na madeira (pinho, eucalipto, abeto) e em fibras naturais como o algodão. A celulose tem como principal característica a grandes resistência mecânica que possui.

No caso da construção civil, a celulose que se utiliza na forma de isolamento térmico é proveniente do papel de jornal reciclado [59].

Tabela 3.5 - Propriedades do isolamento à base de celulose da marca Isofloc [63]

Isolamento à base de celulose - Isofloc	
Massa Volúmica (kg/m ³)	35-60
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,039
Comportamento ao fogo	Classe M1
Energia Incorporada (MJ/Kg)	0,9-3,3
Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂ /Kg)	-

O Isofloc é um material de isolamento térmico e acústico à base de celulose (91%) e sais de boro (9%), semelhante ao algodão e à lã, que pode ser injectado, insuflado ou projectado em paredes, pavimentos, tectos e cobertura. Este produto tem a capacidade de absorver e regular a humidade no interior das habitações, proporcionando um ambiente agradável. A celulose é utilizada neste produto é proveniente do papel de jornal reciclado, não prejudicando o meio ambiente. O sal bórico é um material natural, existindo em predominância no sal marinho, e é ele que dá as características necessárias de protecção contra o fogo, impedindo o envelhecimento do papel e protegendo-o contra fungos e parasitas. Trata-se de um material muito durável pois as fibras de celulose apenas se decompõem em situações de humidade muito elevada e numa exposição por tempo prolongado [63].

Este tipo de isolamento cria calor na superfície dos elementos de construção que são capazes de criar uma sensação ideal de calor mesmo com temperaturas interiores relativamente baixas. Esta radiação traz uma valiosa contribuição á poupança de energia. No verão, as fibras de celulose mantêm o ambiente da sua habitação a uma temperatura agradável durante muito mais tempo, visto este material se distinguir de outros isolamentos pela sua estrutura celular, pelo valor elevado da relação peso/volume e principalmente pela sua excepcional capacidade de armazenar calor (elevado calor específico) [63].

3.2.1.6. Isolamentos à base de vidro celular

O fabrico do vidro é um processo industrial que acarreta emissões de carbono consideráveis e um forte impacto no meio ambiente.

No entanto, o caminho para a fabricação do vidro passa pela reciclagem, uma vez que é um material 100% reciclável. A reciclagem reduz os gastos de energia (utiliza menos energia no forno de fusão) e diminui a utilização e extracção de matérias-primas da natureza. Para além disso não altera as suas características, sendo bastante durável.

Com o pó do vidro pode ser fabricado um isolamento aplicável em construção conhecido como vidro celular. É obtido através da fusão do pó vítreo, que através de processos termoquímicos origina células parcialmente ocas e fechadas entre si, impossibilitando a comunicação.

Tabela 3.6 - Propriedades do isolamento à base de vidro celular da marca Foamglas [64]

Isolamento à base de vidro celular - Foamglass	
Massa Volúmica (kg/m ³)	100-120
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,042
Comportamento ao fogo	Euroclasse A1
Energia Incorporada (MJ/Kg)	27,0
Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂ /Kg)	-

Este produto é composto por 100% de vidro reciclado (obtido através de pára-brisas de automóveis com defeito e das indústrias de construção). Para o seu fabrico, o vidro é moído, misturado com uma pequena quantidade de carbono e colocado em moldes de aço de alta qualidade. De seguida os moldes, passam por um forno onde o pó de espuma de vidro é expandido.

É isento de substâncias nocivas para o ambiente tais como CFC e HCFC. É ambientalmente sustentável tanto na sua produção como na sua utilização no seu destino final. É um produto muito durável, sendo que mesmo depois de muitos anos de serviço, ambas as propriedades físicas e térmicas se mantêm constantes [64].

3.2.1.7. Comparação com isolamentos térmicos correntes

Seguidamente é apresentada uma comparação entre os diferentes isolamentos térmicos utilizados.

Em termos de toxicidade, pois como são materiais plásticos, os isolamentos térmicos sintéticos contêm vários tipos de aditivos como plastificantes, redutores de rigidez, corantes, estabilizadores de radiação solar, redutores de fumos, anti-estáticos, redutores de ignição e outros [1].

Para além disso, como se pode verificar na tabela seguinte, os isolamentos sintéticos (EPS,XPS,PIR) são aqueles que possuem valores mais elevados de Energia incorporada e de emissões de CO₂, sendo claramente prejudiciais para o ambiente e indo no sentido contrário à tão procurada sustentabilidade, sendo portanto totalmente aconselhável a utilização de isolamentos térmicos de origem natural.

Tabela 3.7 - Comparação de diversos parâmetros relativos aos diferentes isolamentos térmicos [65]

	Condutibilidade térmica (W/m.°C)	Energia Incorporada (MJ/Kg)	Emissões de CO2 (Kg CO2 /Kg)
EPS (poliestireno expandido moldado)	0,037	86,4	2,7
Lã mineral	0,042	16,6	1,2
XPS (poliestireno expandido extrudido)	0,037	86,4	2,7
PIR (espuma rígida de poliuretano)	0,04	72,1	3
Aglomerado de cortiça expandida (ICB)	0,04	4	0,19
Cânhamo	0,04	4,32	0,19
Argila expandida	0,11	7,2	0,52
Celulose	0,039	2,1	-
Vidro celular	0,042	27	-
Fibras de madeira	0,038	20	0,98

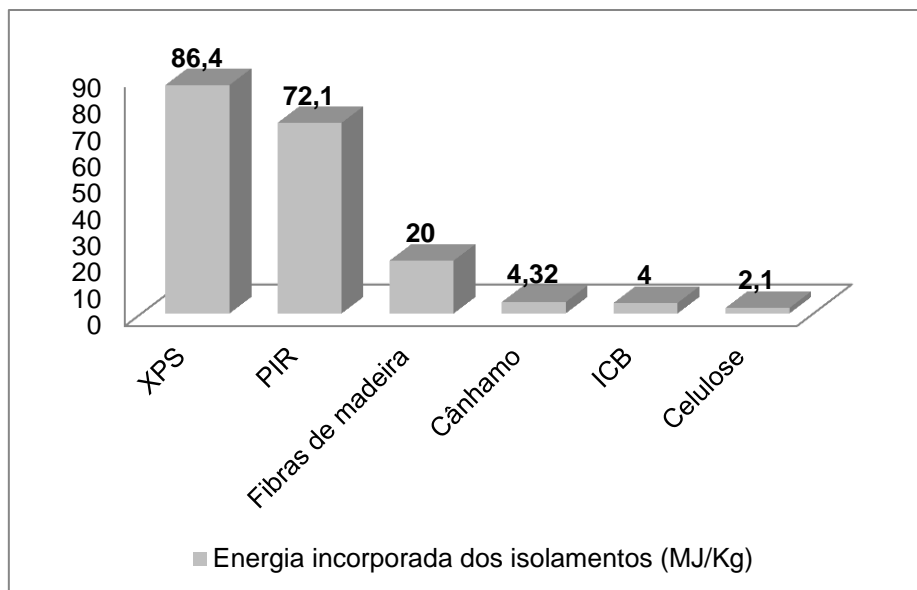


Figura 3.2 - Energia incorporada dos diferentes isolamentos térmicos

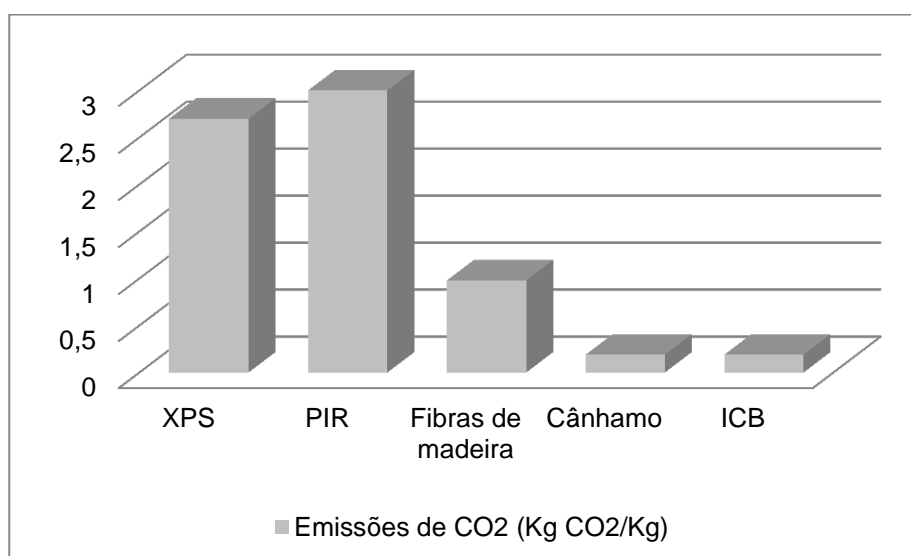


Figura 3.3 - Emissões de CO₂ dos diferentes isolamentos térmicos

3.3. Outros materiais sustentáveis e o seu contributo para a redução do consumo de Energia

3.3.1. Unidades para Alvenarias

3.3.1.1. Tijolos cerâmicos

A indústria de produção de tijolos cerâmicos beneficia de uma situação geológica favorável do ponto de vista de disponibilidade dos recursos naturais (argila) no nosso país. A produção atinge valores de aproximadamente 4/5 milhões de ton/ano [1].

Relativamente aos consumos de energia, a necessidade de cozedura dos tijolos cerâmicos a elevadas temperaturas leva a que esta seja uma indústria de elevados consumos de energia. As fontes de energia utilizadas são várias abrangendo fuel, gás natural e gás propano. A utilização de equipamentos mais eficientes, o uso de biomassas ou a utilização de aditivos na composição dos tijolos que actuem como fundentes, pode ainda assim contribuir para a minimização do consumo de combustíveis fósseis [1].

As emissões de gases poluentes provocadas por esta indústria são constituídas por partículas de dióxido de enxofre (SO₂), óxido de azoto (Nox), monóxido de carbono (CO), fluoreto de hidrogénio (HF) e dióxido de carbono. Relativamente a este último, é estimado que a sua produção seja de aproximadamente 400.000 ton/ano [1].

Tabela 3.8 - Propriedades dos tijolos cerâmicos tradicionais correntemente utilizados

Tijolo cerâmico tradicional		
Propriedades	Tijolo 11	Tijolo 15
Massa Volúmica (kg/m ³)	<1000	
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,4	
Resistência térmica (m ² .°C/W)	0,27	0,39
Resistência à compressão (N/mm ²)	≥ 1,5	
Comportamento ao fogo	Euroclasse A1	
Energia Incorporada (MJ/Kg)	3,0	
Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂ /Kg)	0,22	

Tijolos cerâmicos com incorporação de resíduos

A produção de tijolos cerâmicos com incorporação de resíduos de outras indústrias pode constituir uma boa forma da indústria cerâmica contribuir para uma construção mais sustentável. Por um lado porque existe a redução da extracção de argilas (fazendo face à problemática da redução do solo disponível com consequências na biodiversidade) e por outro porque se evita a deposição em aterro dos referidos resíduos. Alguns dos resíduos que podem ser incorporados na produção de tijolos cerâmicos e que têm sido testados nos últimos anos são por exemplo as cinzas volantes, o fosfogesso e o papel.

Tijolo térmico

Algumas marcas existentes no mercado produzem já tijolos cerâmicos com propriedades térmicas superiores aos tradicionais, sendo denominados por tijolos térmicos.

Tabela 3.9 - Propriedades dos tijolos térmicos da marca Preceram [67]

Tijolo térmico - Preceram			
Propriedades	Tijolo 19	Tijolo 24	Tijolo 29
Massa Volúmica (kg/m^3)	907	860	860
Condutibilidade térmica ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$)		0,21	
Resistência térmica ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$)	0,90	1,07	1,40
Resistência à compressão (N/mm^2)		$\geq 3,0$	
Comportamento ao fogo		Euroclasse A1	
Energia Incorporada (MJ/Kg)		3,0	
Emissões de CO_2 ($\text{Kg CO}_2/\text{Kg}$)		0,22	

Tijolo cBloco

O projecto cBloco pretendeu desenvolver um novo bloco cerâmico conciliando as potencialidades mecânicas dos tijolos de furação vertical em alvenaria confinada, com a optimização do desempenho térmico por via da utilização de novas geometrias ou também pela incorporação de resíduos provenientes da indústria da madeira e papel como indutores de porosidade.

Estes novos tijolos apresentam elevada resistência mecânica e elevado desempenho térmico (capaz de responder às exigências das zonas climáticas I1 e I2 definidas no actual RCCTE).



Figura 3.4 - Tijolos cBloco

Tabela 3.10 - Propriedades dos tijolos cBloco

Tijolo cBloco – 300x300x200	
Massa Volúmica (kg/m ³)	1850
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,5
Resistência mecânica (MPa)	13,0
Energia Incorporada (MJ/Kg)	3,0
Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂ /Kg)	0,22

3.3.1.2. *Blocos de solo-cimento*

Este tipo de blocos são constituídos por agregados reciclados (cimento), argila e água, possuindo uma resistência à compressão bastante elevada. Do ponto de vista térmico, os seus valores situam-se bastante abaixo das outras soluções (devem portanto ser acompanhados de um isolamento térmico considerável), tendo a grande vantagem de serem mais sustentáveis, tendo menos impacto negativo no ambiente.

Tabela 3.11 - Propriedades dos blocos de solo-cimento da marca EnviroMasonry [68]

Blocos de solo-cimento – EnviroMasonry (Bradstone)		
Propriedades	Tijolo 10	Tijolo 14
Massa Volúmica (kg/m ³)	2050	
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	1,43	
Resistência térmica (m ² .°C/W)	0,07	0,098
Resistência à compressão (N/mm ²)	9,2	7,7
Comportamento ao fogo	Euroclasse A1	
Energia Incorporada (MJ/Kg)	0,85	
Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂ /Kg)	0,09	

3.3.1.3. *Blocos de betão celular autoclavado*

Os blocos de betão celular autoclavado (AAC – Autoclaved aerated concrete) apresentam todas as propriedades e características para a construção de alvenarias de alta qualidade, possuindo excelente isolamento térmico, elevada resistência à compressão, incombustibilidade e resistência ao fogo e facilidade de manuseamento, o que facilita a sua aplicação e economia de mão-de-obra [59].

O peso reduzido e a estabilidade dimensional do betão celular autoclavado são características ideais para a construção de alvenarias. A sua utilização em paredes exteriores e interiores, permite uma menor transmissão de carga, a todos os elementos estruturais (lajes, vigas e pilares), do que outros materiais de construção, para além de toda a qualidade e bem-estar oferecidos [69].

Trata-se de um material de construção, inteiramente natural e não poluente, composto por areia, cal, cimento e água. Na fase final do fabrico é adicionado pó de alumínio que actua como gerador de bolhas de hidrogénio no seio da mistura dos restantes constituintes, e que são responsáveis pela formação da estrutura celular deste material. A cura deste betão é feita em autoclave sob a acção de vapor de água em condições de pressão e temperatura controladas [69].

Os impactos inerentes ao fabrico dos materiais constituintes destes blocos são relativos à extracção da matéria-prima e consumos, quer energéticos quer de água. Contudo, o uso da cal durante o processo de fabrico é uma mais-valia já que permite absorver mais CO₂ do que a quantidade que é emitida. Os blocos podem ser reciclados ou valorizados como um agregado secundário por incorporação em processos produtivos [59].

Tabela 3.12 - Propriedades dos blocos de betão celular autoclavado da marca Ytong [69]

Blocos de betão celular autoclavado (AAC) - Ytong	
Massa Volúmica (kg/m ³)	400-550
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,16
Resistência à compressão (N/mm ²)	5,0
Comportamento ao fogo	Material não combustível
Energia Incorporada (MJ/Kg)	3,5
Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂ /Kg)	0,28-0,375



Figura 3.5 - Paredes com blocos de betão celular autoclavado (AAC)

3.3.1.4. *Blocos de terra*

Devido aos baixos consumos de energia e de emissões de carbono, por estar associada a baixos ou quase nulos níveis de poluição e ainda por ser responsável por níveis de humidade no interior dos edifícios benéficos em termos de saúde humana, a construção em terra possui vantagens competitivas face à construção corrente e que lhe permitem augurar um futuro promissor [1].

É caracterizada pela baixa energia incorporada, pelo que o consumo energético primário é sobretudo solar, tornando-a uma tecnologia com capacidade de resposta à racionalização do consumo energético [59].

Os principais inconvenientes da terra são a rápida degradação do material sobre a acção da água e a fraca resistência mecânica. Tendo em conta os actuais padrões de segurança e durabilidade das construções, deve ser usada principalmente associada a outros materiais complementares, como a adição de aditivos aglomerantes [57].

Blocos de Adobe

O adobe é um bloco produzido mediante a moldagem de terra plástica, podendo tal ser feito através de um processo manual ou mecanizado. O fabrico dos blocos consiste na moldagem em moldes de madeira, desmoldados ainda no estado fresco e colocados a secar à temperatura ambiente. Esta técnica requer o uso de um solo plástico e argiloso, por isso é utilizado frequentemente em locais onde é possível encontrar água. A utilização deste tipo de solo vai levar ao aparecimento de fissuras devido à retracção do material, situação essa que pode ser evitada através da colocação de palha ou outras fibras vegetais [1].

Blocos de Terra Comprimida

O BTC surgiu da evolução do adobe por estabilização do solo. Produz-se pela prensagem da terra no seu estado húmido, podendo ter um processo de fabrico mecânico ou hidráulico, permitindo obter pequenos blocos de terra prensada, mais resistentes e duráveis em relação ao adobe. Este tipo de construção permite uma rápida execução, facilidade de montagem e uma diminuição dos resíduos de construção [1].

3.3.1.5. Comparação entre as várias unidades de alvenaria

Seguidamente é apresentada um quadro-resumo com a comparação do ponto de vista térmico e de sustentabilidade, entre os diferentes tipos de unidades de alvenaria:

Tabela 3.13 - Comparativo entre os diferentes tipos de unidades de alvenaria [65]

	Condutibilidade térmica (W/m.°C)	Energia Incorporada (MJ/Kg)	Emissões de CO2 (Kg CO2 /Kg)
Tijolo cerâmico tradicional	0,4	3	0,22
Tijolo térmico	0,21	3	0,22
Tijolo cBloco	0,5	3	0,22
Blocos de solo-cimento	1,43	0,85	0,09
Blocos AAC	0,16	3,5	0,28
Blocos BTC	1,1	0,42	0,005

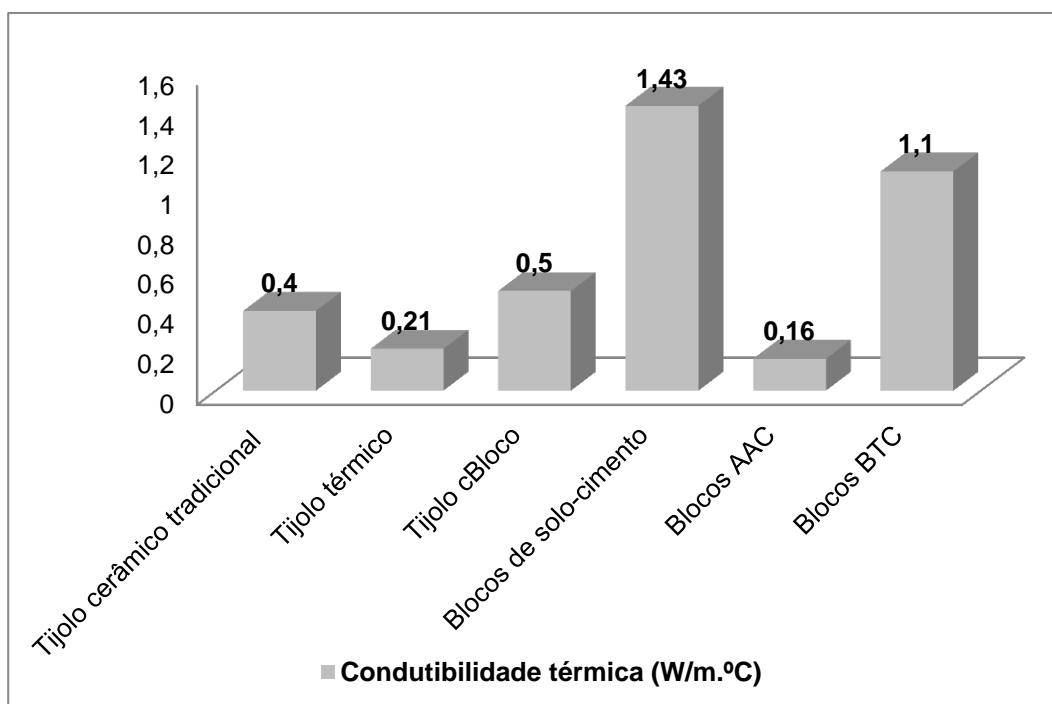


Figura 3.6 - Condutibilidade térmica dos diferentes tipos de unidades de alvenaria

Relativamente ao desempenho térmico, podemos verificar através do gráfico anterior que os blocos de tijolo térmico e os de betão celular autoclavado são os que apresentam melhor desempenho.

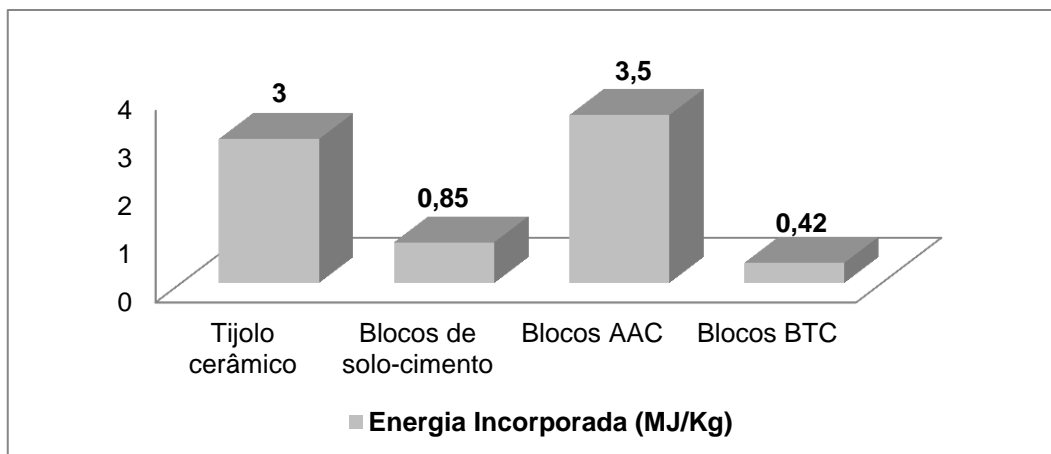


Figura 3.7 - Energia incorporada dos diferentes tipos de unidades de alvenaria

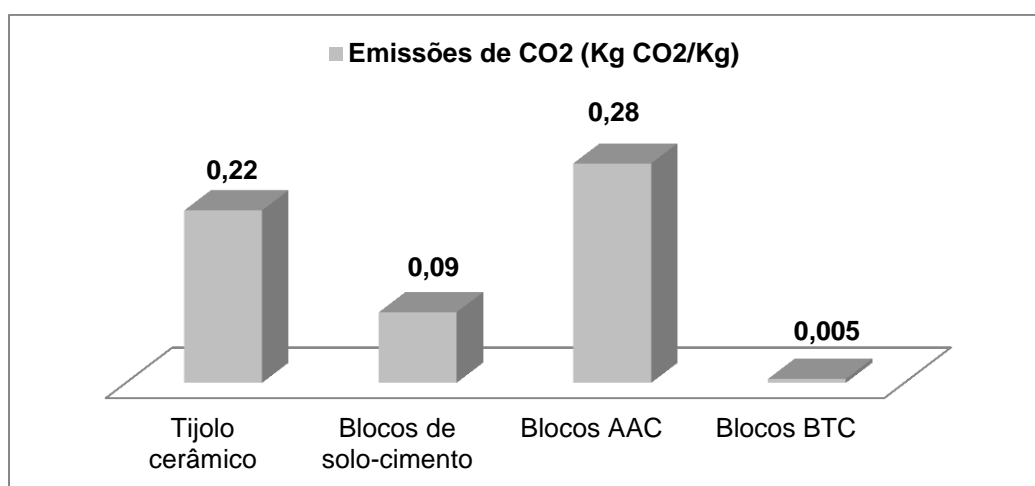


Figura 3.8 - Emissões de CO₂ dos diferentes tipos de unidades de alvenaria

Deve ter-se em conta a massa volúmica de cada uma das unidades de alvenaria. Por exemplo, os blocos de betão celular autoclavado possuem uma densidade inferior à maioria dos restantes, o que vai fazer com que por exemplo, um metro quadrado de parede efectuada com blocos AAC tenha uma energia incorporada inferior a um metro quadrado efectuada com tijolos cerâmicos (considerando espessuras semelhantes).

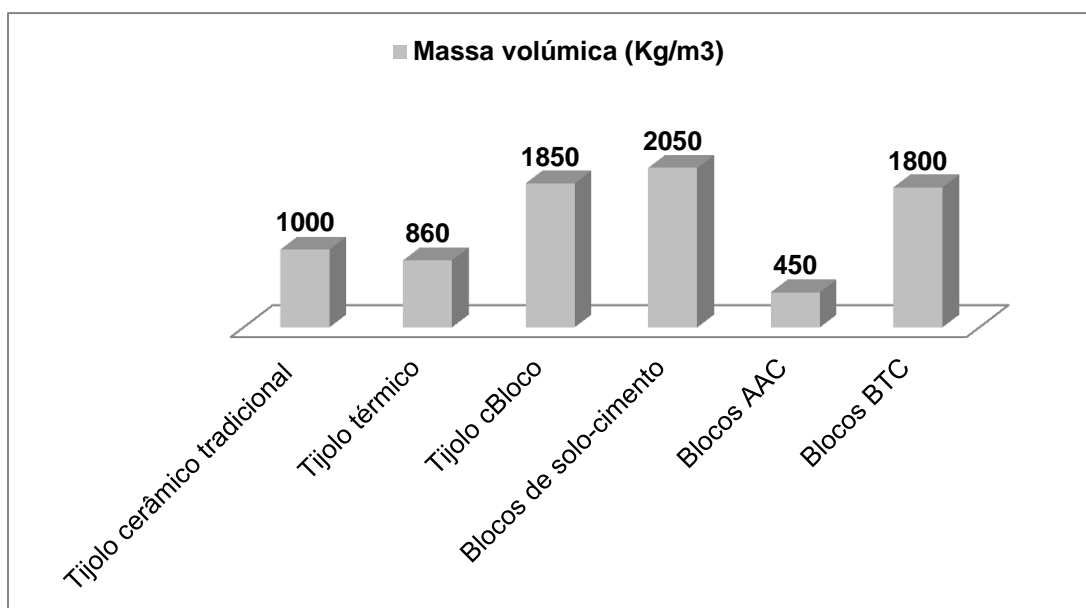


Figura 3.9 - Massa volúmica dos diferentes tipos de unidades de alvenaria

3.3.2. Revestimentos

3.3.2.1. Argamassa de Cal

Tradicionalmente a cal sempre foi um material muito usado na constituição das argamassas. Actualmente e com o uso de aditivos cada vez mais difundido, a cal tem sido abandonada em muitos casos. No entanto é sabido que essa prática afecta a durabilidade do revestimento.

Do ponto de vista da sustentabilidade e agressividade para com o meio ambiente, as principais vantagens da cal sobre o cimento são [59]:

- Menores temperaturas necessárias/associadas à produção, resultando numa redução de cerca de 20% das emissões de dióxido de carbono;
- A pasta de cal absorve CO₂ no processo de cura, e a cal hidráulica nunca mais de 75% do seu peso;
- Ao contrário da argamassa de cimento, a constituída por cal é reciclável. Também a alvenaria adjacente à argamassa de cal poderá ser reutilizada, contrariamente àquela revestida por cimento, que servirá apenas para elementos britados;
- Apresenta maior flexibilidade, movimentando-se com a estrutura (impossível na argamassa de cimento devido à sua elevada rigidez) prevenindo a fendilhação;
- À semelhança da argamassa de cimento é impermeável à água, mas permite a absorção de humidade e posterior evaporação, mantendo assim seca a alvenaria adjacente.

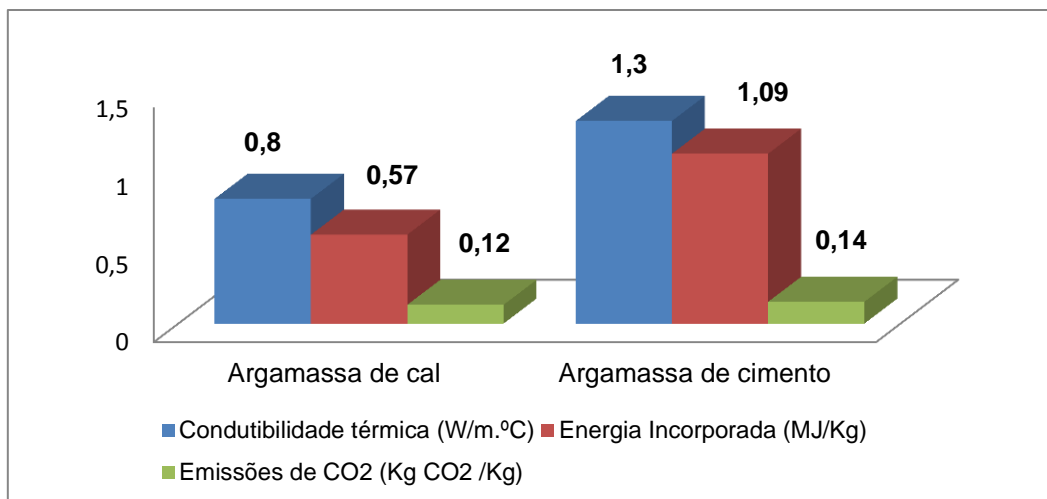


Figura 3.10 - Comparação entre argamassa de cimento e argamassa de cal

3.3.2.2. Gesso

O gesso é um mineral relativamente comum em rochas sedimentares, com distribuição abundante em jazidas espessas e que se encontra, por exemplo, em antigas regiões vulcânicas onde os vapores sulfurosos transformaram o calcário. Aparece frequentemente intra-estratificado com calcário e xisto argiloso e é normalmente encontrado em camadas sob depósitos de rocha salina. As jazidas de gesso encontram-se principalmente na Alemanha, França, Espanha, Itália e Reino Unido.

O gesso é um material amplamente conhecido na área da construção pelas suas diversas aplicações. Em Portugal, tem-se produzido desde o ano 2000 cerca de 500000 toneladas de gesso por ano, sendo que o sector da construção consome aproximadamente 95% da produção total de gesso. Calcula-se que aproximadamente 80 a 90% dos acabamentos interiores das moradias sejam feitos á base de gesso (estruque, gesso cartonado ou laminado). Devido às suas propriedades térmicas e acústicas, estes produtos contribuem para o conforto de milhares de pessoas [70].

Uma das maiores deficiências do gesso como material de construção é a sua deficiente resistência na presença de água, ainda que actualmente essa situação seja melhorada com a introdução de aditivos á base de silicones ou poliméricos (gesso cartonado) e fibra de vidro. A fraca resistência mecânica e uma vez que a acção prolongada da humidade atmosférica reduz a sua dureza e coesão, fazem com que a utilização destas misturas na construção se limite quase exclusivamente ao acabamento de paredes e tectos interiores [70].

Relativamente aos impactos ambientais associados pode-se dizer que a extracção desta matéria-prima tem como principais impactes ambientais a emissão de poeiras que se formam

durante a extracção, carregamento, transporte e fragmentação. Para além disso o consumo de energia, o impacte visual e a utilização de água.

Placas de gesso Cartonado/Laminado

Estas placas são fabricadas essencialmente a partir de gesso, água e alguns aditivos. Esta pasta húmida é despejada continuamente sobre papel, recebendo uma nova camada na superfície superior. Assim é fabricada uma espécie de sanduíche de papel e gesso que, após secagem é cortada numa grande variedade de formatos. As placas de gesso laminado, ou gesso cartonado, estão também disponíveis em diversas espessuras e, conforme os aditivos que recebem, podem destinar-se a locais diferentes numa construção, tal como ambientes húmidos ou onde se necessita adicional resistência ao fogo.

As placas de gesso são aparafusadas directamente sobre a estrutura metálica ou coladas a paredes de alvenaria através de massa própria. As juntas são tratadas pela aplicação de pasta de acabamento reforçada com uma tira de papel ou rede.

Tabela 3.14 - Propriedades das placas de gesso laminado

Placas de gesso laminado	
Massa Volúmica (kg/m ³)	720
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,25
Comportamento ao fogo	Classe M1
Energia Incorporada (MJ/Kg)	6,75
Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂ /Kg)	0,38

3.3.2.3. Cortiça natural projectada

Este produto é usado para acabamento final de fachadas, aderindo aos mais comuns materiais construtivos (argamassa, metal, cortiça, XPS), conferindo isolamento térmico adicional e anti fissuras. É impermeável à água da chuva [71].

Tabela 3.15 - Propriedades da cortiça natural projectada em emulsão da marca Corkwall [71]

Cortiça natural projectada em emulsão - Corkwall	
Massa Volúmica (kg/m ³)	500-700
Condutibilidade térmica (W/m.°C)	0,068
Comportamento ao fogo	Euroclasse B (M1)
Energia Incorporada (MJ/Kg)	0,5
Emissões de CO ₂ (Kg CO ₂ /Kg)	0,1

Esta solução vem demonstrar mais uma vez o grande potencial da utilização de cortiça na indústria da construção, especialmente em projectos com foco na sustentabilidade. Como já foi referido anteriormente, a cortiça é um material bastante abundante em Portugal (que é o maior produtor), é 100% natural, orgânico, renovável, biodegradável, reutilizável e reciclável. Existem portanto um sem número de vantagens na utilização deste produto por parte dos projectistas, tendo em vista a sustentabilidade.

3.3.2.4. Argamassa de Barro (Argila)

O barro é um produto natural, isento de tóxicos, reciclável e reutilizável.

A argamassa de barro é uma mistura composta por barro, areia seleccionada e palha de aveia. Trata-se de uma argamassa permeável ao vapor, regulando naturalmente a humidade e absorvendo maus odores.

Este tipo de argamassa pode ser utilizado no revestimento de paredes interiores, numa camada única ou em várias camadas, sendo disponibilizado e fabricado em Portugal pela marca embarro.

3.3.2.5. Bambu

O Bambu pode ser um material muito importante para a sustentabilidade da construção civil. Os motivos para esta importância vão desde a sua resistência e baixos preços, até à sua importante contribuição ambiental, por sequestrar altas taxas de carbono.

A sua utilização dá-se em diversas áreas da construção, podendo substituir de forma eficiente e durável outros materiais usados em ambientes externos e internos. O bambu, actuando com utilidade similar às madeiras, pode substituir espécies como eucalipto, que impactam de forma negativa o meio ambiente, quando utilizados em larga escala.

Para que o bambu seja realmente sustentável é necessário respeitar alguns cuidados específicos, desde que é feito o plantio, até à sua utilização final. O tratamento do bambu é o estágio que merece maior atenção, pois quando é utilizado em larga escala, necessita de elementos químicos que aumentam a sua durabilidade.

A sua utilização em terrenos pouco férteis potencia-os para melhores colheitas devido à sua capacidade de enriquecer as terras, no entanto deve também ter-se em conta que se trata de uma espécie invasiva, devendo-se portanto usar barreiras para evitar o seu natural alastramento.

O bambu pode ser usado, para fins comerciais, a partir do sétimo ano após o plantio. Nos anos seguintes pode ser colhido anualmente, por período indeterminado. Esse é outro motivo que o coloca à frente do eucalipto, material com o qual é normalmente comparado e que leva 15 anos até que possa ser utilizado na construção civil.

Em Portugal ainda não é muito utilizada a construção em Bambu, contudo temos excelentes condições climáticas para produzir bambu de qualidade e utilizá-lo na construção.

Uma vez que é uma alternativa à utilização de madeira, pode ser usado em revestimentos de paredes e tectos, em coberturas ou paredes divisórias [55].

3.3.2.6. Pedra Natural

Portugal constitui um dos maiores produtores a nível mundial no sector da indústria pétrea decorativa, possuindo de facto uma enorme variedade de pedra natural, sendo portanto expectável que se opte cada vez mais por este tipo de revestimento. Também a tecnologia relativa a este tipo de revestimento tem sofrido um elevado desenvolvimento, sendo possível actualmente obter placas pétreas de espessuras muito reduzidas [72].

Quando aplicada em revestimentos exteriores, a pedra natural deverá preferencialmente possuir um acabamento com superfície rugosa, pois esta dificulta a absorção de água que é uma das maiores causadoras de anomalias neste material [72].

3.3.3. Novos ligantes alternativos ao cimento

Como se sabe, a produção de clínquer de cimento está associada a um elevado nível de emissões de CO₂.

Para cada tonelada de clínquer de cimento vão libertar-se para a atmosfera 579 Kg de CO₂ e isto independentemente da eficiência do processo utilizado. A este valor deve ainda ser somado 390 Kg de CO₂ provenientes da utilização de combustíveis fósseis durante a produção do clínquer. Pode-se então, simplificarmente, afirmar-se que durante a produção de 1 tonelada de clínquer de cimento se produz quase 1 tonelada de CO₂ [75].

É devido a essa situação que as investigações sobre ligantes alternativos ao cimento Portland ganhem cada vez mais relevância.

3.3.3.1. *Ligante Geopolimérico*

Os ligantes geopoliméricos foram objecto de intensas análises por parte de investigadores do Leste da Europa, sendo que apenas em 1978 quando Joseph Davidovits introduziu o termo “geopolimero” tendo patenteado investigações sobre a polimerização de metacaulino é que a temática dos ligantes alcalinos sofreu uma inflexão, quer em termos de investigação produzida e de divulgação mediática [75].

Em termos físicos, os ligantes obtidos por activação alcalina, compreendem fundamentalmente duas etapas, uma de dissolução da sílica e alumina da matéria-prima, quando misturada com uma solução alcalina (activador) e outra de policondensação e endurecimento dos produtos de reacção numa estrutura polimérica. Investigações recentes sobre os ligantes activados alcalinamente demonstram que é possível sintetizar ligantes a partir de resíduos aluminosilicatados activados com soluções de elevada alcalinidade [75].

Alguns autores referem que durante a produção de 1 tonelada de ligante geopolimérico se produz cerca de 184 Kd de CO₂, valor consideravelmente mais reduzido que na produção de clínquer de cimento.

3.3.3.2. *Ground Granulated Blastfurnace Slag (GGBS)*

Da produção de ferro (fornos a altas temperaturas) resulta uma escória que quando fundida, arrefecida e posteriormente granuladas transforma-se num fino pó de cimento que dá origem ao GGBS. O processo de recuperação e de processamento de uma tonelada desta escória produz aproximadamente 0,1 toneladas de monóxido de carbono e pode substituir o cimento em taxas a rondar os 70% [59].

3.3.4. Caixilharia para envidraçados

Os materiais mais utilizados no fabrico de caixilharias para vãos envidraçados são a Madeira, o Alumínio e o PVC.

Madeira

A madeira tem um custo bastante mais elevado em comparação com o Alumínio e o PVC, sendo no entanto o material mais vantajoso do ponto de vista ambiental. Não tem emissões de gases tóxicos, é um material biodegradável e reciclável. Para além disso é um bom isolante térmico e acústico. O grande problema deste material prende-se com o facto de em caso de não ser mantido em condições, pode levar a problemas como dilatações e empenos [59].

Alumínio

Trata-se de um material que enquanto aplicação como caixilharia dispensa manutenção regular, pela sua resistência e durabilidade. Adapta-se facilmente a diversos estilos arquitectónicos pela vasta gama de cores e acabamentos, estando no entanto bastante limitado quanto a isolamento térmico e acústico [59].

Trata-se de um material muito penalizador para o ambiente devido às diversas fases e transporte desde a extracção da bauxita até a transformação final. Também não é biodegradável (mais de 500 anos até à sua decomposição no ambiente), sendo no entanto totalmente reciclável.

PVC

É um material que apresenta boas características isolantes (térmicas e acústicas) e de resistência. Permite acabamentos em diversas cores e imitações de outros materiais (madeira por exemplo).

Tem no entanto graves problemas em termos de impactos ambientais, pois sendo um material derivado do petróleo, a sua extracção é muito gravosa para o ambiente. Não é um material biodegradável (demora mais de 100 anos até à sua decomposição no ambiente) e é um potencial emissor de formaldeídos prejudiciais ao ambiente [59].

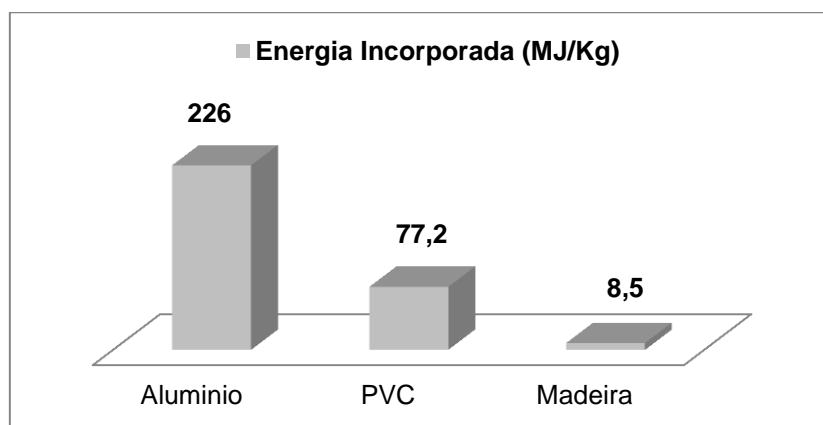


Figura 3.11 - Energia incorporada dos diferentes materiais usados para fabrico de caixilharias [65]

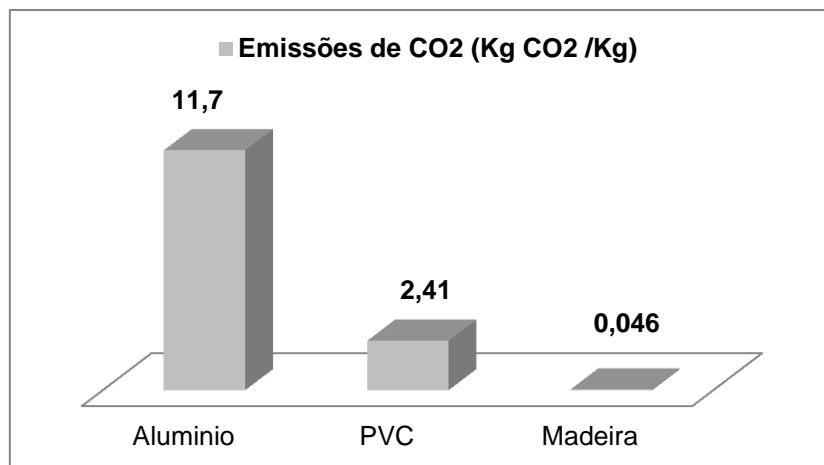


Figura 3.12 - Emissões de CO₂ dos diferentes materiais usados para fabrico de caixilharias [65]

4. APLICAÇÃO A CASO DE ESTUDO

4.1. Objectivo da aplicação

No seguimento do trabalho com vista à avaliação do contributo, que os novos materiais mais eficientes para a conservação de energia podem dar para o sector da construção de edifícios, espera-se poder quantificar as reais vantagens de alguns destes materiais aquando da sua introdução em soluções de projecto.

4.2. Metodologia

A avaliação do contributo destes materiais será feita através da avaliação do desempenho energético do edifício em estudo, usando as regulamentações nacionais aplicáveis.

Será efectuada uma simulação de substituição dos materiais existentes por materiais mais eficientes na conservação de energia, de forma a poder comparar o desempenho energético do edifício em ambos os casos, confirmando ou não o melhor desempenho energético esperado por parte destes últimos, assim como a consequente poupança de recursos em termos de consumo energético global.

4.3. Descrição e caracterização do objecto do estudo

O objecto de estudo trata-se de uma moradia de habitação unifamiliar que se encontra em fase de construção na periferia da zona urbana de Sousel, concelho de Sousel (zona climática I1-V3S), a uma altitude de 256 metros, numa zona não abrangida por gás natural.



Figura 4.1 - Localização da moradia em estudo

A moradia possui fachadas na orientação Noroeste/Sudeste e não existem obstáculos/edifícios que provoquem sombreamento. A moradia é de tipologia T3, possui uma área útil de pavimento de 157,16 m², um pé direito de 2,7 m e é composta por uma sala de jantar, uma cozinha, três quartos, uma despensa, duas instalações sanitárias, vestíbulos e dois espaços não úteis (garagem e desvão não útil). As peças desenhadas da moradia (planta e alçados) encontram-se em maior detalhe no Anexo I.

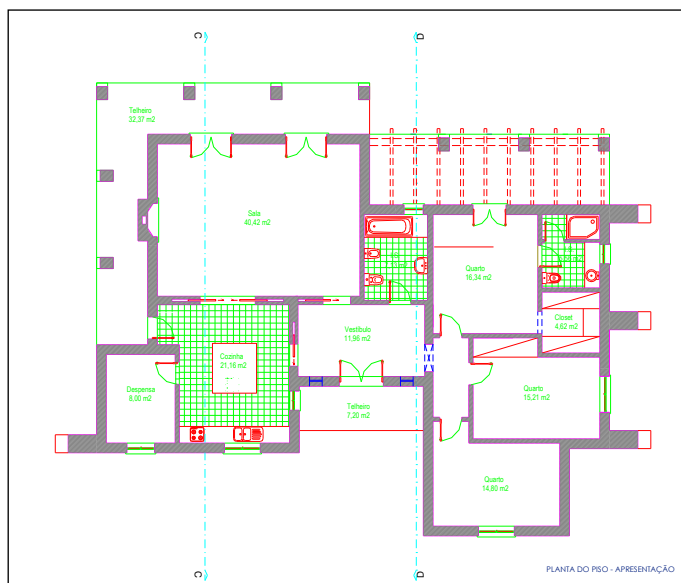


Figura 4.2 - Planta da moradia

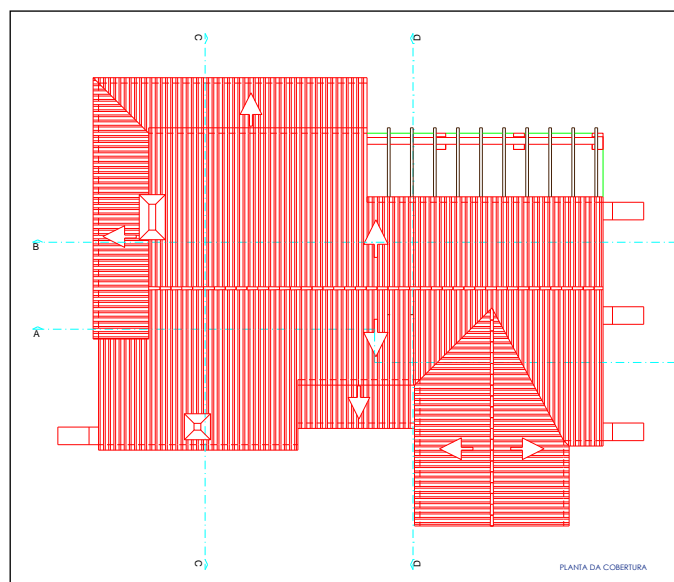


Figura 4.3 - Planta do desvão não útil

4.4. Sistema Construtivo

4.4.1. Envolvente Vertical

Paredes Exteriores

As Paredes exteriores são duplas de alvenaria de tijolo (de 15 + 11 cm) com caixa-de-ar de 3 cm preenchida parcialmente com isolamento térmico XPS do tipo Wallmate CW, com superfície lisa e 3 cm de espessura. Sobre a alvenaria (tijolo 15cm) e pelo exterior será aplicado reboco com 2 cm de argamassa convencional pintada a cor branca, pelo interior sobre a alvenaria (tijolo 11cm) será aplicado reboco com 2 cm de espessura. Este tipo de paredes é utilizado em todas as zonas opacas verticais do edifício.

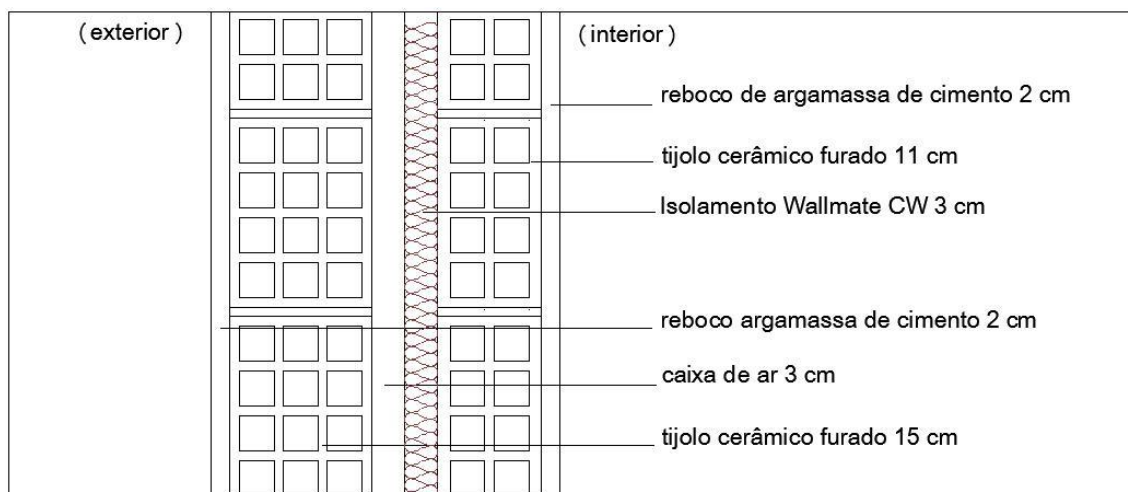


Figura 4.4 - Pormenor construtivo de parede exterior da solução existente

Pontes térmicas planas – pilares e vigas

A zona de ponte térmica é constituída por 25 cm de betão armado, isolamento térmico com placas de XPS do tipo Wallmate IB com superfície rugosa e 3 cm de espessura, tijolo furado com 4 cm de espessura e reboco de argamassa de cimento com 2 cm de espessura. Pelo lado interior dos pilares e vigas será também aplicado reboco de argamassa de cimento com 2 cm de espessura.

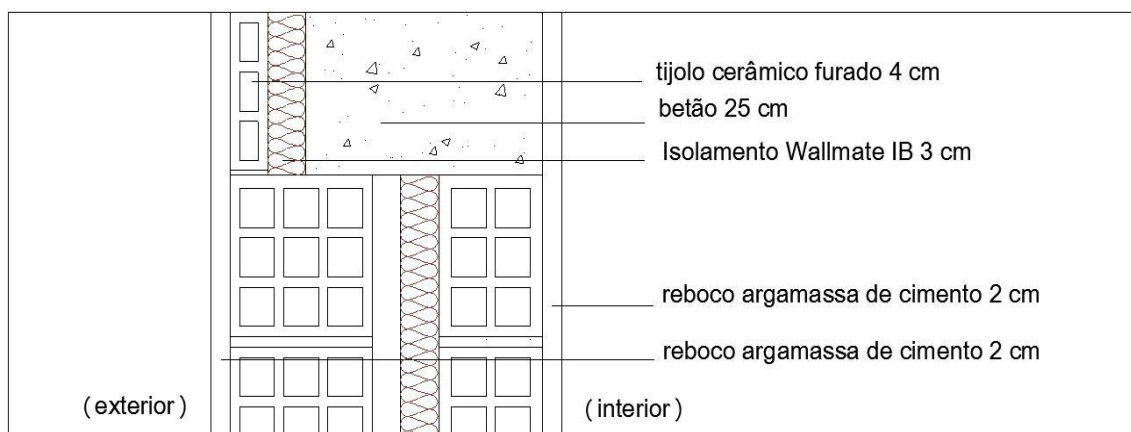


Figura 4.5 - Pormenor construtivo de zona de ponte térmica plana (pilar ou talão de viga) da solução existente

Paredes em contacto com despensa (espaço não aquecido)

As paredes interiores em contacto com a despensa têm a mesma constituição das paredes exteriores.

Paredes interiores de compartimentação

As paredes de compartimentação são constituídas por alvenaria de tijolo de 11cm, rebocadas em ambas as faces com argamassa de cimento com 1,5 cm de espessura.

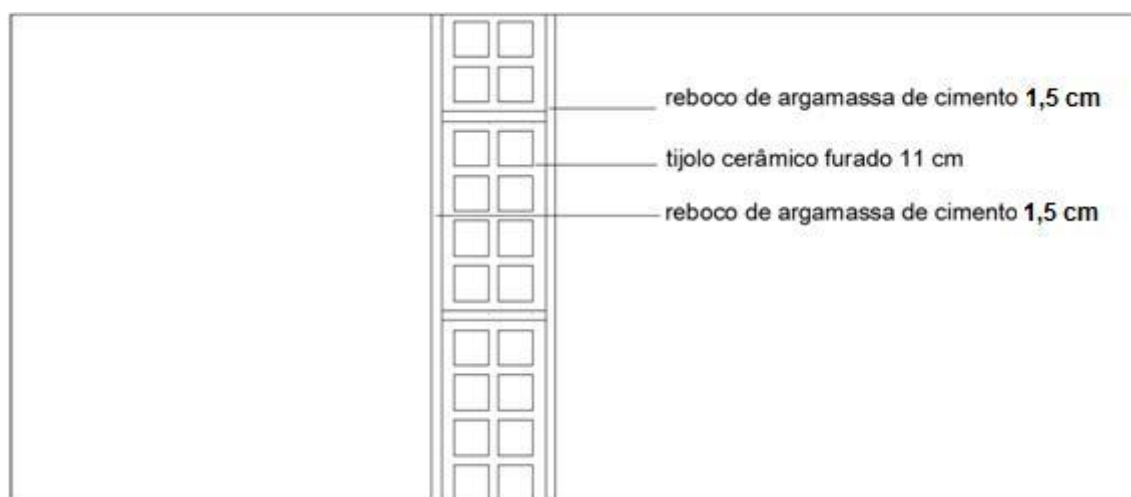


Figura 4.6 - Pormenor construtivo de parede interior de compartimentação da solução existente

4.4.2. Envolvente Horizontal

Cobertura em contacto com desvão não ventilado

A cobertura interior horizontal para o desvão não ventilado é constituída por laje de aligeirada de betão com 20 cm de espessura. A laje é isolada termicamente com placas de XPS do tipo Roofmate SL com 5 cm de espessura, e revestida inferiormente com argamassa de cimento com 2 cm de espessura.

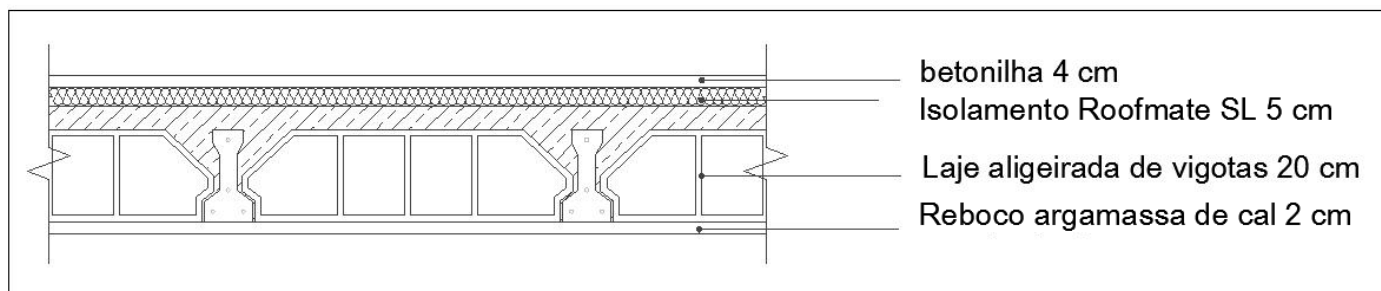


Figura 4.7 - Pormenor construtivo de cobertura em contacto com desvão não ventilado da solução existente

4.4.3. Envidraçados

Os vãos envidraçados são constituídos por vidro duplo incolor de 4 mm, separados por 14 mm de caixa-de-ar. A caixilharia é metálica com corte térmico, possuindo portada de alumínio. A caixilharia tem classe 2 no que toca à permeabilidade ao ar.

$$U_{\text{wdn}} = 2.3 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

4.5. Nível de desempenho energético (Aplicação do RCCTE)

4.5.1. Caracterização térmica das soluções construtivas

Os coeficientes de transmissão térmica (U) das soluções construtivas existentes na moradia foram obtidos através das seguintes expressões:

$$R_j = \frac{e}{\lambda} \text{ [(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W]}]$$

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \text{ [W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)]}$$

sendo,

e – espessura do elemento [m]

λ – Condutibilidade térmica do elemento [W/(m.°C)]

R_{si} e R_{se} – resistências térmicas superficiais interior e exterior respectivamente [(m².°C)/W]

$\sum_j R_j$ – Somatório das resistências térmicas dos materiais constituintes da solução [(m².°C)/W]

Nas tabelas seguintes apresentam-se os cálculos dos coeficientes de transmissão térmica (U) das soluções construtivas da solução existente:

Tabela 4.1 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes exteriores da solução existente

DESCRIÇÃO: Parede Exterior				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m²°C/W)
1	Reboco de cimento com 2cm	0,02	1,30	0,015
2	Tijolo cerâmico furado 15cm	0,15		0,39
3	Caixa-de-ar com 3 cm	0,03		0,18
4	Isolamento Wallmate CW 3 cm	0,03	0,037	0,81
5	Tijolo cerâmico furado 11cm	0,11		0,27
6	Reboco de cimento com 1 cm	0,01	1,30	0,01
		0,35		
	Rsi	0,13		1,84
	Rse	0,04		
			U =	0,54

Tabela 4.2 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes em contacto com zona não aquecida da solução existente

DESCRIÇÃO: Parede em contacto com despensa (zona não aquecida)				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m²°C/W)
1	Reboco de cimento com 2cm	0,02	1,30	0,015
2	Tijolo cerâmico furado 15cm	0,15		0,39
3	Caixa-de-ar com 3 cm	0,03		0,18
4	Wallmate CW 3 cm	0,03	0,037	0,81
5	Tijolo cerâmico furado 11cm	0,11		0,27
6	Reboco de cimento com 1 cm	0,01	1,30	0,01
		0,35		
	Rsi	0,13		1,84
	Rse	0,13	U=	0,52

Tabela 4.3 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico da zona de PTP da solução existente

DESCRÇÃO: PTP (pilar e talão de viga)				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m²°C/W)
1	Reboco de cimento 0.02	0,02	1,30	0,02
2	Tijolo cerâmico furado 4cm	0,04	0,00	0,10
3	Wallmate (rugoso) IB - 3cm	0,03	0,037	0,81
4	Pilar ou talão de viga em betão	0,25	2,00	0,13
5	Reboco de cimento com 1 cm	0,01	1,3	0,01
		0,35		
	Rsi	0,13		1,06
	Rse	0,04		
			U =	0,81

Tabela 4.4 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico da cobertura em contacto com desvão não ventilado da solução existente

DESCRÇÃO: Cobertura com isolamento sobre a laje				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m²°C/W)
1	Isolamento térmico roofmate SL 5 cm	0,05	0,037	1,35
2	Laje de betão 0.20 m	0,2	2,00	0,10
3	Reboco de cimento com 2 cm	0,02	1,3	0,02
		0,27		
	Rsi	0,1		1,47
	Rse	0,1		
			U =	0,60

Tabela 4.5 - Valores dos coeficientes de transmissão térmica das soluções construtivas da solução existente

	U (W/m².°C)
Parede Exterior	0,54
Parede em contacto c/ despensa (zona não aquecida)	0,52
Pontes Térmicas Planas - pilar e talão de viga	0,81
Cobertura	0,60

4.5.2. Dados climáticos

Através do Quadro III.1 do RCCTE é possível saber a zona climática de Inverno e Verão onde a moradia se insere, o nº de graus-dias (caracteriza a severidade de um clima durante a estação de aquecimento) e a respectiva duração da estação de aquecimento.

CONCELHO	Zona Climática Inverno	Nº Graus-dias (GD) (°C.dias)	Duração estação aquec.(M) (meses)	Zona Climática Verão	Amplitude térmica (°C)
SINTRA	I1	1430	6,0	V1	8
SOBRAL DE MONTE AGRAÇO	I1	1500	5,7	V2	11
SOURE	I1	1490	6,0	V2	13
SOUSEL	I1	1290	6,0	V3	16
TÁBUA	I2	1620	7,0	V2	14
TABUAÇO	I3	2460	6,3	V3	15

Figura 4.8 - Dados climáticos do concelho de Sourel (Quadro III.1 do RCCTE)

Conforme a zona climática definida, é possível através da consulta dos Quadros III.8 e III.9, obter a energia solar média mensal, a temperatura média do ar exterior e a intensidade média de radiação solar.

Tabela 4.6 - Dados climáticos da moradia em estudo

Concelho		Sourel
Altitude (m)		253
Zona Climática		
INVERNO	Inverno - I	I₁
	GD - graus-dias (°C dias)	1290
	G_{SUL} intensidade da radiação (kWh/m².mês)	108
	Duração Aquecimento (meses)	6
VERÃO	Verão - V	V3
	Sul ou Norte	Sul
	T. Verão - θ_{atm} (°C)	23
	Intensidade da radiação solar para o Verão (Junho a Setembro)	
	NE	330
	SE	460
	SW	470
	NW	330

De referir que como a Altitude é de 253 metros (< 400 metros), não se introduzem quaisquer alterações relativamente ao zonamento e aos dados climáticos, em função da altitude do local em estudo.

4.5.3. Identificação das envolventes e levantamento dimensional

A envolvente exterior caracteriza-se por ser o conjunto dos elementos do edifício ou da fracção autónoma que estabelecem a fronteira entre o espaço interior e o ambiente exterior.

A envolvente interior é a fronteira que separa a fracção autónoma de ambientes normalmente não climatizados (espaços anexos “não úteis”), tais como garagens ou armazéns, bem como de outras fracções autónomas adjacentes em edifícios vizinhos.

A envolvente interior sem requisitos é a fronteira que separa duas fracções aquecidas.

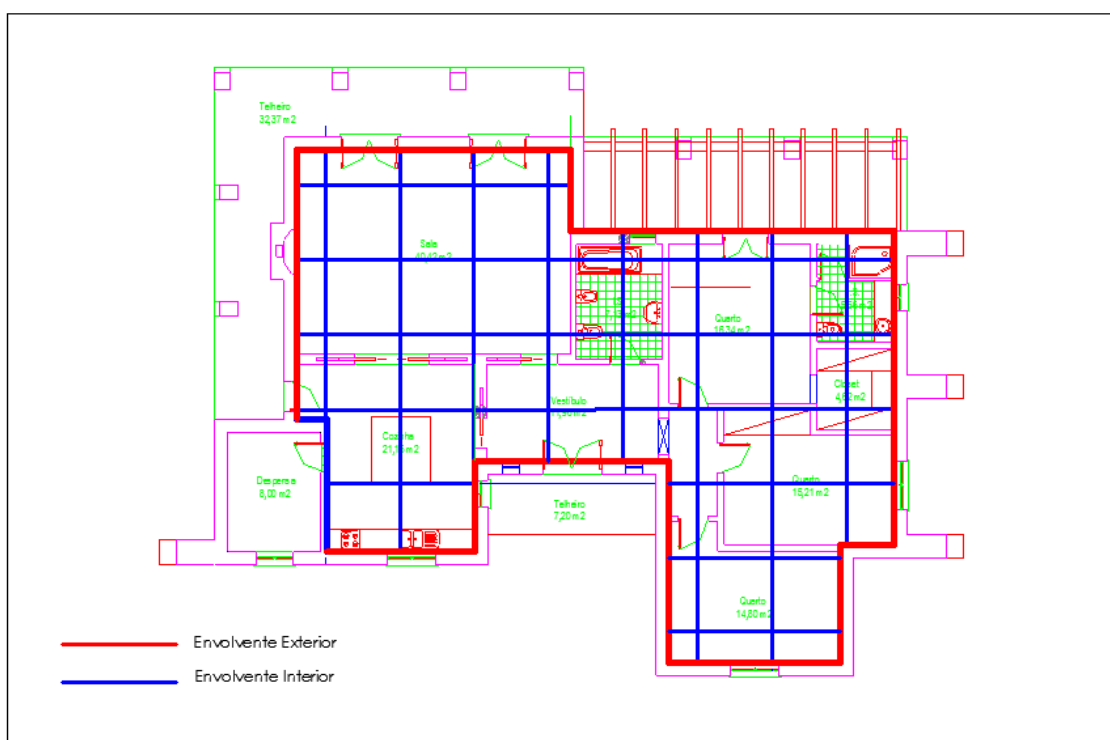


Figura 4.9 - Definição das envolventes da moradia em estudo

Tabela 4.7 - Levantamento dimensional

Envolvente	Orientação	Atot (m²)	Azc (m²)	Aptp (m²)	Aenv(m²)
Exterior	SE	41,43	31,98	4,71	4,74
	NW	51,09	36,34	5,51	9,24
	NE	23,49	17,94	2,31	3,24
	SW	19,50	16,80	2,70	0
	Porta entrada	4,05			
Interior	Parede em contacto c/zona não aquecida (despensa)	10,4			
	Laje em contacto com desvão não ventilado	149,16			
	Porta despensa	1,6			

4.5.4. Verificação dos requisitos mínimos

Para que a verificação dos requisitos mínimos seja regulamentar é necessário identificar para cada elemento da envolvente, o seu coeficiente de transmissão térmico (U), segundo a sua solução construtiva, e que este seja inferior ao valor máximo admitido para esse mesmo elemento da envolvente em análise.

Os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos são retirados do Quadro IX.1 do RCCTE. De notar, que para as pontes térmicas planas o coeficiente de transmissão térmico máximo regulamentar terá de ser o mínimo entre o dobro do coeficiente de transmissão térmico da zona corrente ou o valor retirado do Quadro IX.1 do RCCTE.

Tabela 4.8 - Requisitos mínimos do coeficiente de transmissão térmica

Elementos da Envolvente	Solução Adoptada (U)	Valor Máximo (Quadro IX.1)	Observações
Parede Exterior	0,54	1,8	Regulamentar
Parede em contacto com zona não aquecida (despensa)	0,52	2,0	Regulamentar
Ponte térmica plana (pilar e talão de viga)	0,81	2* U _{min} zc = 1,04	Regulamentar
Laje em contacto com desvão não útil	0,60	1,65	Regulamentar

Relativamente aos envidraçados aplicados na moradia, para que a verificação do requisito mínimo seja regulamentar é necessário que o tipo de protecção solar usada, consoante os valores de factor solar de vãos com protecção solar activada a 100% e vidro incolor corrente do Quadro V.4 do RCCTE, não exceda o factor solar máximo admissível do Quadro IX.2 do RCCTE.

Tabela 4.9 - Requisitos mínimos dos envidraçados

Solução adoptada - Verão	Factor Solar dos envidraçados (Quadro V.4)	Valor Máximo (Quadro IX.2)	Observações
Protecção exterior com portada de alumínio	0,09	0,5	Regulamentar

4.5.5. Inércia Térmica da moradia

A inércia térmica interior de uma fracção autónoma depende da capacidade calorífica que os locais apresentam e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção.

A massa superficial útil por metro quadrado de área útil de pavimento é calculada pela seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \times S_i \times r_i}{A_p} \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Em que:

M_{si} - Massa superficial útil do elemento i (kg/m²);

S_i - Área da superfície interior do elemento i (m²);

r_i - Factor de redução que toma em conta a influência dos revestimentos superficiais interiores com propriedades de “isolamento térmico” - Quadro VII.7;

A_p - Área útil de pavimento (m²).

A massa superficial útil M_{si} dos elementos de construção depende da massa total por unidade de área do elemento m_t e, ainda, dos seguintes aspectos:

- Localização no edifício;
- Massa superficial e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e da qualidade do isolamento térmico;
- Características térmicas do revestimento superficial interior.

Nas tabelas seguintes apresentam-se os cálculos dos valores de M_{si} e cálculo da classe de Inércia:

Tabela 4.10 – Cálculo do M_{si} para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução existente

Parede Exterior / Parede em contacto com despesa	d _i (m)	ρ [kg/m ³]	R _j (m ² .°C/W)	m _t (kg/m ²)	m _i (kg/m ²)
Reboco de cimento com 2cm	0,02	2000	0,02	40	
Tijolo cerâmico furado 15cm	0,15	1000	0,39	150	
Caixa-de-ar com 3 cm	0,03		0,18		
Wallmate CW - 3 cm	0,03	30	0,81	0,9	
Tijolo cerâmico furado 11cm	0,11	1000	0,27	110	110
Reboco de cimento com 1 cm	0,01	2000	0,01	20	20
Total				320,9	130

Tabela 4.11 - Cálculo do Msi para as zonas de PTP da solução existente

Ponte Térmica Plana (pilar e talão de viga)	di (m)	ρ [kg/m ³]	Rj (m ² .°C/W)	mt(kg/m ²)	mi(kg/m ²)
Reboco de cimento 2 cm	0,02	2000	0,02	40	
Tijolo cerâmico furado 4cm	0,04	1000	0,10	40	
Wallmate IB – 3 cm	0,03	30	1,14	0,9	
Pilar ou talão de viga de betão	0,25	2400	0,13	600	600
Reboco de cimento com 1 cm	0,01	2000	0,01	20	20
Total				700,9	620

Tabela 4.12 - Cálculo do Msi para a laje em contacto com desvão não ventilado da solução existente

Laje em contacto com desvão não ventilado	di (m)	ρ [kg/m ³]	Rj (m ² .°C/W)	mt(kg/m ²)	mi(kg/m ²)
Roofmate SL 5 cm	0,05	35	1,71	1,75	
Laje de betão 0.20 m	0,20	2300	0,10	460	460
Reboco de cimento com 2 cm	0,02	2000	0,02	40	40
Total				501,8	500

Tabela 4.13 - Cálculo do Msi para as paredes interiores de compartimentação da solução existente

Paredes Interiores de compartimentação	di (m)	ρ [kg/m ³]	Rj (m ² .°C/W)	mt(kg/m ²)	mi(kg/m ²)
Reboco com argamassa de cimento 1 cm	0,01	2000	0,02	20	20
Alvenaria tijolo furado 0.11m	0,11	1000	0,27	110	110
Reboco com argamassa de cimento 1 cm	0,01	2000	0,02	20	20
Total				150	150

Tabela 4.14 - Cálculo do Msi para o pavimento da solução existente

Pavimento	di (m)	ρ [kg/m ³]	Rj (m ² .°C/W)	mt(kg/m ²)	mi(kg/m ²)
Ladrilhos cerâmicos 2 cm	0,02	2200	0,02	44	44
Betonilha de regularização 10 cm	0,1	1800	0,08	180	180
Isolamento térmico XPS 3 cm	0,03	30	0,81	0,9	
Laje de betão 20 cm	0,20	2300	0,10	460	
Total				684,9	224

Tabela 4.15 – Cálculo da classe de inércia do edifício para a solução existente

Elemento	Valor máximo regulamentar [kg/m ²]	mi [kg/m ²]	Msi [kg/m ²]	Si [m ²]	ri	Msi*Si*ri [kg]
Parede exterior	150	130	130	103,1	1	13397,3
Parede em contacto com zona não aquecida (despensa)	150	130	130	10,4	1	1351,4
Paredes Interiores de compartimentação	300	150	150	111,0	1	16645,5
Laje em contacto com desvão não ventilado	150	500	150	149,16	1	22374,0
Pavimento em contacto com solo	150	224	150	60,90	1	9135,0
Ponte térmica plana (pilar e talão de viga)	150	620	150	15,2	1	2283,8
Total						65186,9
Ap [m ²]						157,2
It [kg/m ²]						414,8
Classe de inércia						Forte

O valor da inércia térmica da moradia em estudo é de 414,8 kg/m², logo apresenta uma classe de inércia térmica interior Forte, pois segundo o Quadro VII.6 do RCCTE, o valor obtido é maior que 400 kg/m².

4.5.6. Cálculo das necessidades de aquecimento (estação de Inverno)

As necessidades nominais de aquecimento de uma fracção autónoma de um edifício são a energia útil que é necessário fornecer-lhe, para manter permanentemente no seu interior, uma temperatura de 20°C (de acordo com o estabelecido no artº14º do RCCTE) durante a estação convencional de aquecimento.

O valor das necessidades nominais, calculado para condições de referência, constitui uma forma objectiva de comparar edifícios desde a fase do licenciamento, do ponto de vista do comportamento térmico: quanto maior for o seu valor mais frio é o edifício no Inverno, ou mais energia é necessário consumir para o aquecer até atingir uma temperatura confortável.

As necessidades nominais de aquecimento resultam do valor integrado na estação de aquecimento da soma algébrica de três parcelas:

1. Perdas de calor por condução através da envolvente do edifício (Qt);
2. Perdas de calor resultantes da renovação do ar Qv;
3. Ganhos de calor úteis (Qgu), resultantes da iluminação, dos equipamentos dos ocupantes e dos ganhos solares através dos envidraçados.

As necessidades nominais de aquecimento Nic são calculadas pela seguinte expressão:

$$N_{ic} = (Q_t + Q_v - Q_{gu}) / A_p \quad (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{ano})$$

As necessidades nominais de energia útil para aquecimento Nic, em resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta os ganhos térmicos solares e internos, não pode exceder o valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento Ni (Artº 5):

$$N_{ic} \leq N_i$$

Onde o valor de Ni depende do factor de forma e dos Graus-Dias de aquecimento.

Tabela 4.11 - Necessidades de aquecimento para a solução existente

Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	Ap (m ²)	Nic (kWh/m ² .ano)	Ni (kWh/m ² .ano)	Nic ≤ Ni
7814,8	157,16	49,73	75,30	Regulamentar

As folhas de cálculo e as metodologias de cálculos que foram necessárias para determinar as necessidades de aquecimento para a solução existente encontram-se no Anexo II.

4.5.7. Cálculo das necessidades de arrefecimento (estação de Verão)

As necessidades nominais de arrefecimento de uma fracção autónoma de um edifício são a energia útil que é necessária retirar-lhe para manter no seu interior uma temperatura de 25°C (de acordo com o estabelecido no artº14º do RCCTE) durante toda a estação convencional de arrefecimento, isto é de Junho a Setembro.

O cálculo das necessidades nominais de arrefecimento será efectuado através de uma metodologia simplificada, devidamente validada ao nível europeu.

As necessidades nominais de arrefecimento resultam dos ganhos totais brutos do edifício e é função do factor de utilização desses ganhos η .

As necessidades nominais de arrefecimento Nvc são calculadas pela seguinte expressão:

$$N_{vc} = \frac{Q_g \cdot (1 - \eta)}{A_p}$$

As necessidades nominais de energia útil para arrefecimento N_{vc} , em resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta a existência de ganhos térmicos solares e internos, não pode exceder o valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento N_v (Artº 6):

$$N_{vc} \leq N_v$$

Para a zona climática V3 Sul (caso de estudo), temos que $N_v=32$ (kWh/m².ano).

Tabela 4.12 - Necessidades de arrefecimento para a solução existente

Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)	A_p (m ²)	N_{vc} (kWh/m ² .ano)	N_v (kWh/m ² .ano)	$N_{vc} \leq N_v$
1998,7	157,16	12,72	32	Regulamentar

As folhas de cálculo e as metodologias de cálculos que foram necessárias para determinar as necessidades de arrefecimento para a solução existente encontram-se no Anexo VI.

4.5.8. Cálculo das necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias (AQS)

Para o cálculo das necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias considerou-se como sistema um termo acumulador eléctrico com 50 a 100 mm de isolamento térmico (eficiência de conversão $\eta_a = 0,9$).

Tabela 4.13 - Necessidades de energia para preparação de água quente sanitária

Necessidades de energia para preparação de AQS (kWh/ano)	N_{ac} (kWh/m ² .ano)	N_a (kWh/m ² .ano)	$N_{ac} \leq N_a$
3056,51	21,61	30,1	Regulamentar

A folha de cálculo utilizada para determinar as necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias para a solução existente encontra-se no Anexo VII.

4.5.9. Cálculo das necessidades globais de energia primária

Para o cálculo das necessidades globais de energia primária considerou-se como sistemas para aquecimento e arrefecimento, respectivamente a resistência eléctrica (eficiência nominal 1,0) e máquina frigorífica - ciclo de compressão – (eficiência nominal 3,0).

Tabela 4.14 - Necessidades globais de energia primária

Ntc (kgep/m².ano)	Nt (kgep/m².ano)	Ntc ≤ Nt
2,41	5,03	Regulamentar

A folha de cálculo utilizada para determinar as necessidades globais de energia primária para a solução existente encontra-se no Anexo VIII.

Na figura seguinte pode-se verificar a distribuição das necessidades de energia para os diversos fins (aquecimento, arrefecimento e aquecimento de águas sanitárias).

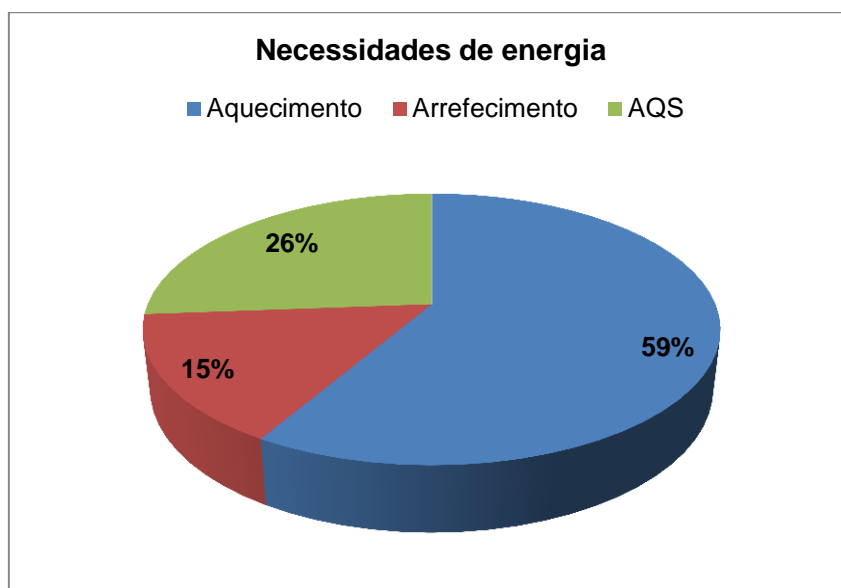


Figura 4.10 - Distribuição das necessidades de energia da moradia em estudo (solução existente)

4.6. Proposta de aplicação de soluções alternativas mais sustentáveis

Após ser efectuada a análise do comportamento térmico da moradia em estudo e ser possível quantificar as necessidades de energia da moradia tendo em base a solução existente, pretende-se agora substituir as soluções existentes, por outras soluções compostas por materiais que permitam uma maior redução de energia, que possuam uma menor energia incorporada e menores emissões de CO₂. Pretende-se comparar os resultados obtidos entre as soluções propostas e a solução existente, verificando aquelas que nos permitem retirar mais vantagens da sua utilização.

4.6.1. Solução alternativa 1

Paredes exteriores e paredes em contacto com zona não aquecida (despensa)

As paredes são duplas de alvenaria de tijolo solo-cimento (de 10 + 10 cm) com caixa-de-ar de 3 cm preenchida parcialmente com isolamento térmico à base de cânhamo com 6 cm de espessura. Sobre a alvenaria exterior será aplicado reboco de argamassa de cal com 2 cm de espessura e sobre a interior será colocado placas de gesso laminado com 1,5 cm de espessura. Este tipo de paredes é utilizado em todas as zonas opacas verticais do edifício.

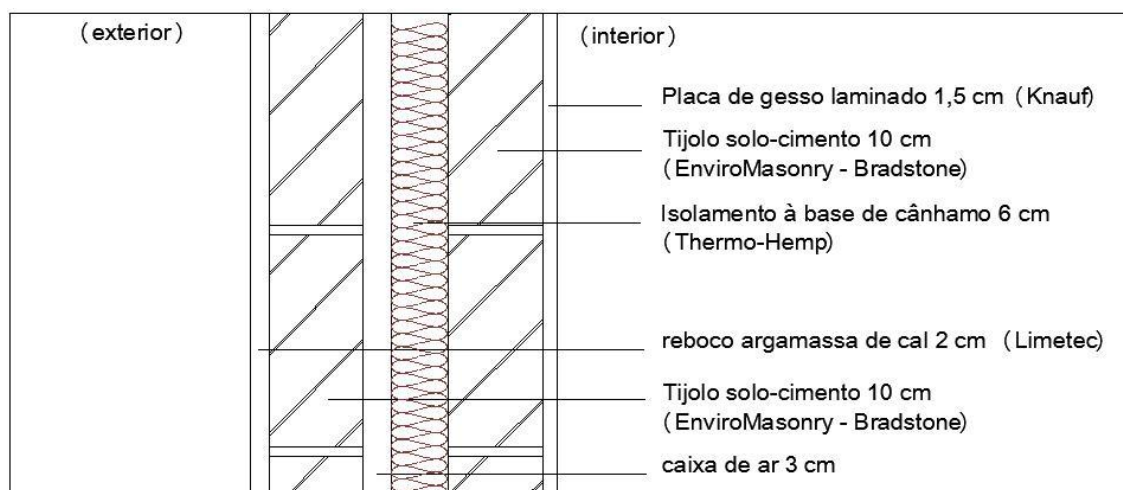


Figura 4.11 - Pormenor construtivo de parede exterior proposta na solução 1

Pontes térmicas planas – pilares e vigas

A zona de ponte térmica é constituída por 25 cm de betão armado, isolamento térmico à base de cânhamo com 4 cm de espessura e tijolo furado de 4 cm. No exterior será aplicado reboco de argamassa de cal com 2 cm de espessura e sobre a interior será colocado placas de gesso laminado com 1,5 cm de espessura.

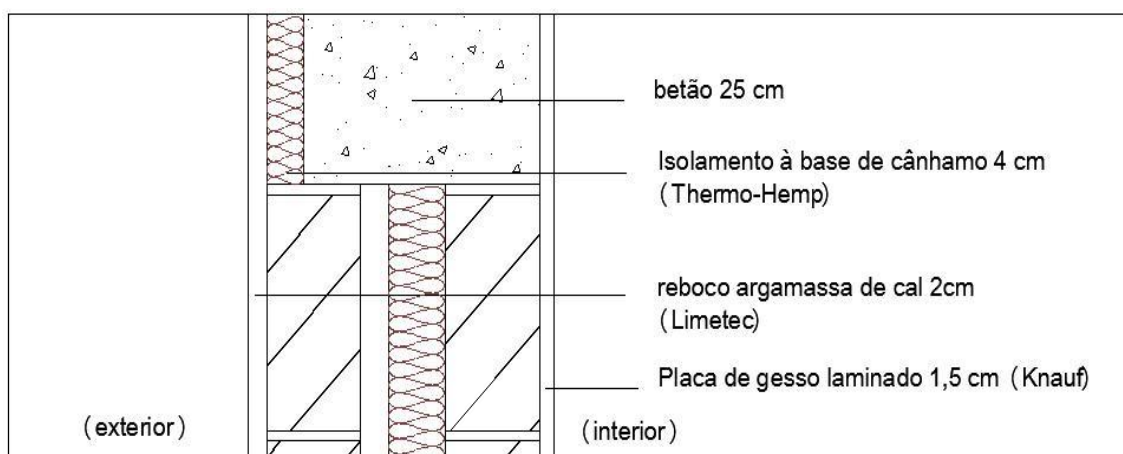


Figura 4.12 - Pormenor construtivo de zona ponte térmica plana (pilar ou talão de viga) proposta na solução 1

Paredes interiores de compartimentação

As paredes interiores de compartimentação são compostas por tijolo solo-cimento de 14 cm (EnviroMasonry Bradstone) revestidas nas duas faces com argamassa de cal (Limetec) com espessura de 1 cm.

Cobertura em contacto com desvão não ventilado

A laje que se encontra em contacto com o desvão não ventilado é aligeirada de betão (20 cm), possui isolamento superior à base de cânhamo (Thermo-Hemp) com 6 cm de espessura e é revestida inferiormente através de placas de gesso laminado com 1,5 cm de espessura (Knauf).

4.6.2. Solução alternativa 2

Paredes exteriores e paredes em contacto com zona não aquecida (despensa)

As paredes são constituídas por tijolo térmico de 24 cm, 5 cm de aglomerado de cortiça expandida como isolamento térmico. O revestimento interior é efectuado com estuque de gesso com espessura de 2 cm e o revestimento exterior é efectuado com Cortiça natural projectada em emulsão (2 cm). Este tipo de paredes é utilizado em todas as zonas opacas verticais do edifício.

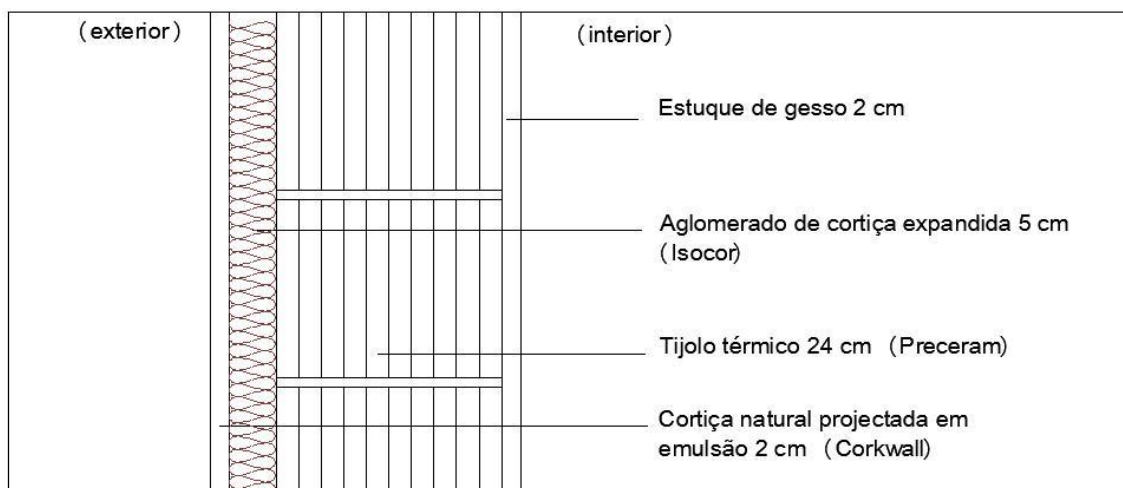


Figura 4.13 - Pormenor construtivo de parede exterior proposta na solução 2

Pontes térmicas planas – pilares e vigas

A zona de ponte térmica é constituída por 25 cm de betão armado e isolamento térmico com aglomerado de cortiça expandida (4 cm de espessura), tijolo furado de 4 cm. O revestimento interior é efectuado com estuque de gesso com espessura de 2 cm e o revestimento exterior é efectuado com Cortiça natural projectada em emulsão (2 cm).

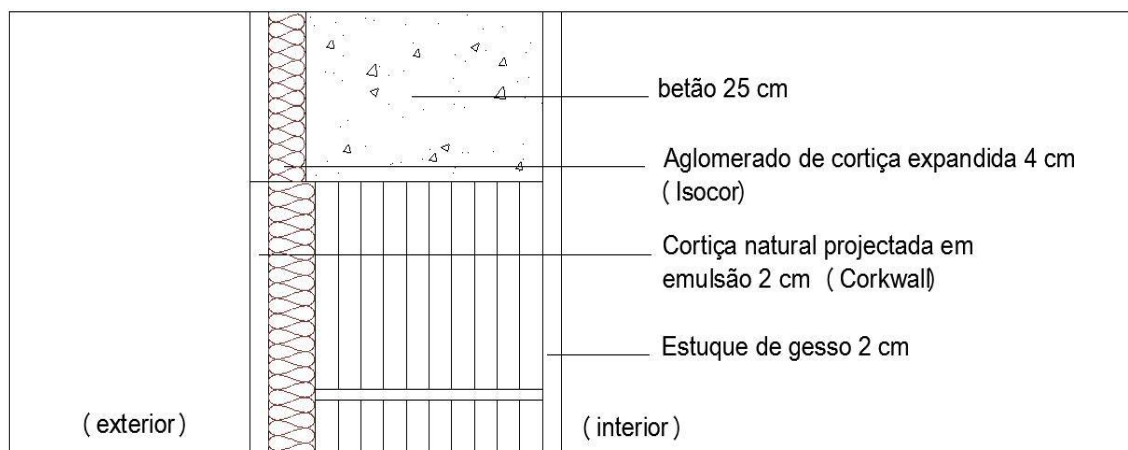


Figura 4.14 - Pormenor construtivo de zona de ponte térmica plana (pilar ou talão de viga) proposta na solução 2

Paredes interiores de compartimentação

As paredes interiores de compartimentação são compostas por tijolo térmico de 14 cm (Preceram) revestidas nas duas faces com estuque de gesso com 1,5 cm de espessura.

Cobertura em contacto com desvão não ventilado

A laje que se encontra em contacto com o desvão não ventilado é aligeirada de betão (20 cm), possui isolamento superior com aglomerado de cortiça expandida (Isocor) com 6 cm de espessura e é revestida inferiormente estuque de gesso com espessura de 2 cm.

4.6.3. Solução alternativa 3

Paredes exteriores e paredes em contacto com zona não aquecida (despensa)

As paredes são constituídas por blocos de betão celular autoclavado de 24 cm, isolamento térmico à base de fibras de madeira com 5 cm de espessura. O revestimento exterior é efectuado através cortiça natural projectada em emulsão com 2 cm de espessura e pelo interior será aplicada argamassa de cal com 2 cm de espessura. Este tipo de paredes é utilizado em todas as zonas opacas verticais do edifício.

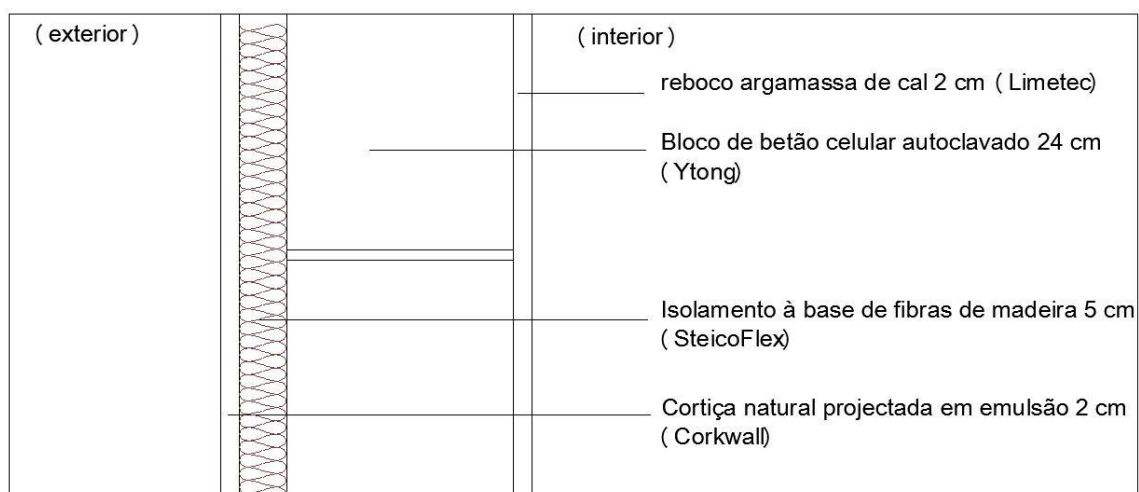


Figura 4.15 - Pormenor construtivo de parede exterior proposta na solução 3

Pontes térmicas planas – pilares e vigas

A zona de ponte térmica é constituída por 25 cm de betão armado e isolamento térmico à base de fibras de madeira com 4 cm. O revestimento exterior é efectuado através cortiça natural projectada em emulsão com 2 cm de espessura e pelo interior será aplicada argamassa de cal com 2 cm de espessura.

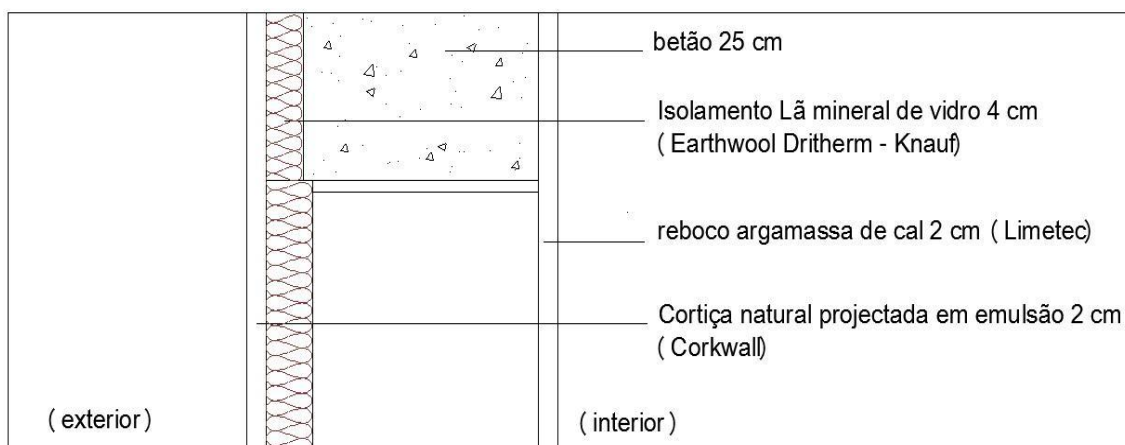


Figura 4.16 - Pormenor construtivo de zona de ponte térmica plana (pilar ou talão de viga) proposta na solução 3

Paredes interiores de compartimentação

As paredes interiores de compartimentação são compostas por blocos de betão celular autoclavado de 15 cm revestidas nas duas faces com reboco de argamassa de cal com 1,5 cm de espessura (Limetec).

Cobertura em contacto com desvão não ventilado

A laje que se encontra em contacto com o desvão não ventilado é aligeirada de betão (20 cm), possui isolamento superior à base de fibras de madeira (Steicoflex) e é revestida inferiormente com reboco de argamassa de cal com 2 cm de espessura (Limetec)

4.6.4. Envidraçados das soluções alternativas

Os vãos envidraçados utilizados em todas as soluções alternativas são constituídos por vidro duplo (4+4 mm) preenchido com gás Árgon (14 mm). As caixilharias são em madeira (pinho).

$$U_{\text{wdn}} = 1.1 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

4.6.5. Aplicação do RCCTE às soluções alternativas

4.6.5.1. Caracterização térmica das soluções construtivas

Apresenta-se de seguida um quadro com os valores de U para os elementos construtivos das diversas soluções propostas. Os cálculos destes valores encontram-se no Anexo XI.

Tabela 4.20 - Coeficientes de Transmissão térmica das soluções alternativas propostas

	U (W/m ² .°C)		
	Solução 1	Solução 2	Solução 3
Parede Exterior	0,46	0,35	0,30
Parede em contacto com zona não aquecida (despensa)	0,45	0,34	0,30
Zona de pontes térmicas Planas - pilar e talão de viga	0,70	0,61	0,60
Cobertura em contacto desvão não ventilado	0,52	0,54	0,53

Nos gráficos seguintes, pode-se comparar os coeficientes de transmissão térmica entre as diversas soluções alternativas e a solução existente.

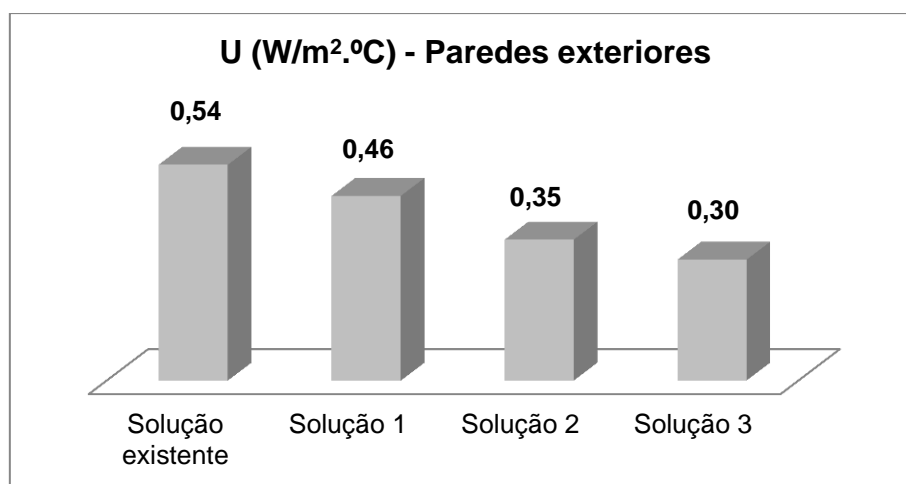


Figura 4.17 - Comparação entre os coeficientes de transmissão térmica das diversas soluções de parede exterior

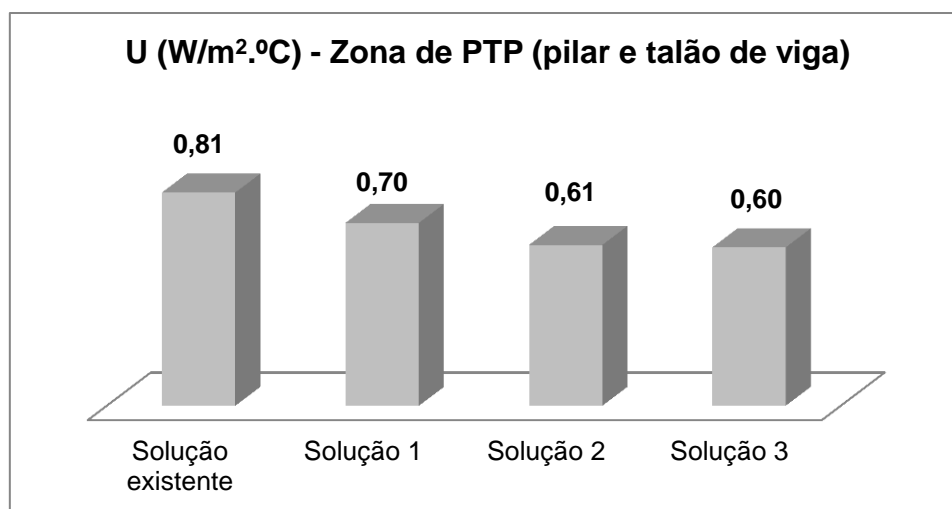


Figura 4.18 - Comparação entre os coeficientes de transmissão térmica das diversas soluções na zona de PTP

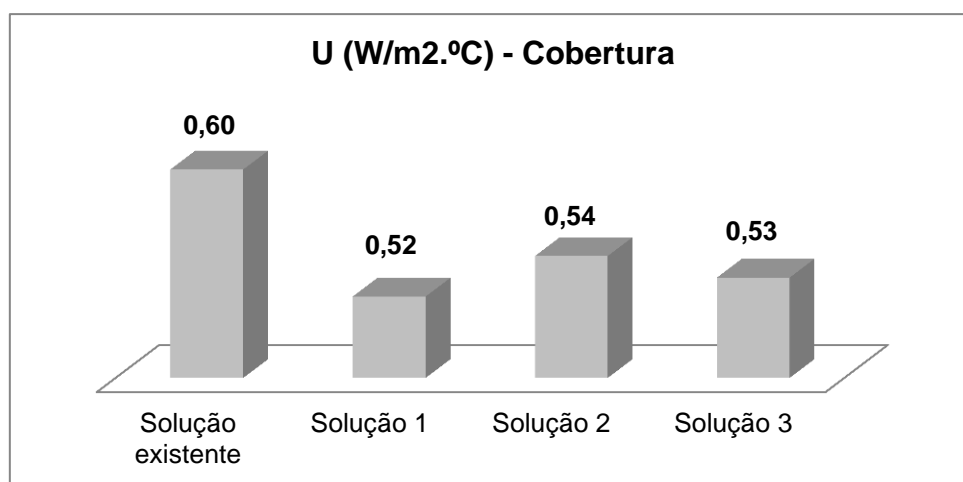


Figura 4.19 - Comparação entre os coeficientes de transmissão térmica das diversas soluções de cobertura

4.6.5.2. Inércia térmica das soluções alternativas

A inércia térmica das diferentes soluções varia conforme as características dos materiais utilizados nessas mesmas soluções. No caso das soluções 2 e 3, essa inércia passou de forte para média, o que está relacionado com as características dos materiais escolhidos para as mesmas.

Tabela 4.5 - Inércia térmica das diferentes soluções alternativas

Inércia Térmica	
Solução existente	Forte
Solução 1	Forte
Solução 2	Média
Solução 3	Média

4.6.5.3. Necessidades de aquecimento (estação de Inverno)

Após a aplicação da metodologia de cálculo proposta no RCCTE para as necessidades de aquecimento na estação de Inverno, obtiveram-se os seguintes valores apresentados na tabela seguinte:

Tabela 4.22 - Necessidades de aquecimento (Inverno) das diversas soluções alternativas

	Necessidades de aquecimento (kWh/ano)	Nic (kWh/m ² .ano)	Ni (kWh/m ² .ano)	Nic ≤ Ni
Solução 1	6624,86	42,15	75,30	Regulamentar
Solução 2	6499,1	41,35		Regulamentar
Solução 3	6280,35	39,96		Regulamentar

4.6.5.4. Necessidades de arrefecimento (estação de Verão)

Após a aplicação da metodologia de cálculo proposta no RCCTE para as necessidades de arrefecimento na estação de Verão, obtiveram-se os seguintes valores apresentados na tabela seguinte:

Tabela 4.23 - Necessidades de arrefecimento (Verão) das diversas soluções alternativas

	Necessidades de arrefecimento (kWh/ano)	Nvc (kWh/m ² .ano)	Nv (kWh/m ² .ano)	Nvc ≤ Nv
Solução 1	2085,8	13,27	32,0	Regulamentar
Solução 2	2119,07	13,48		Regulamentar
Solução 3	2113,69	13,45		Regulamentar

4.6.6. Comparação dos resultados

Na figura seguinte são apresentados os resultados das necessidades energéticas totais para a climatização de cada uma das soluções alternativas apresentadas e da solução existente.

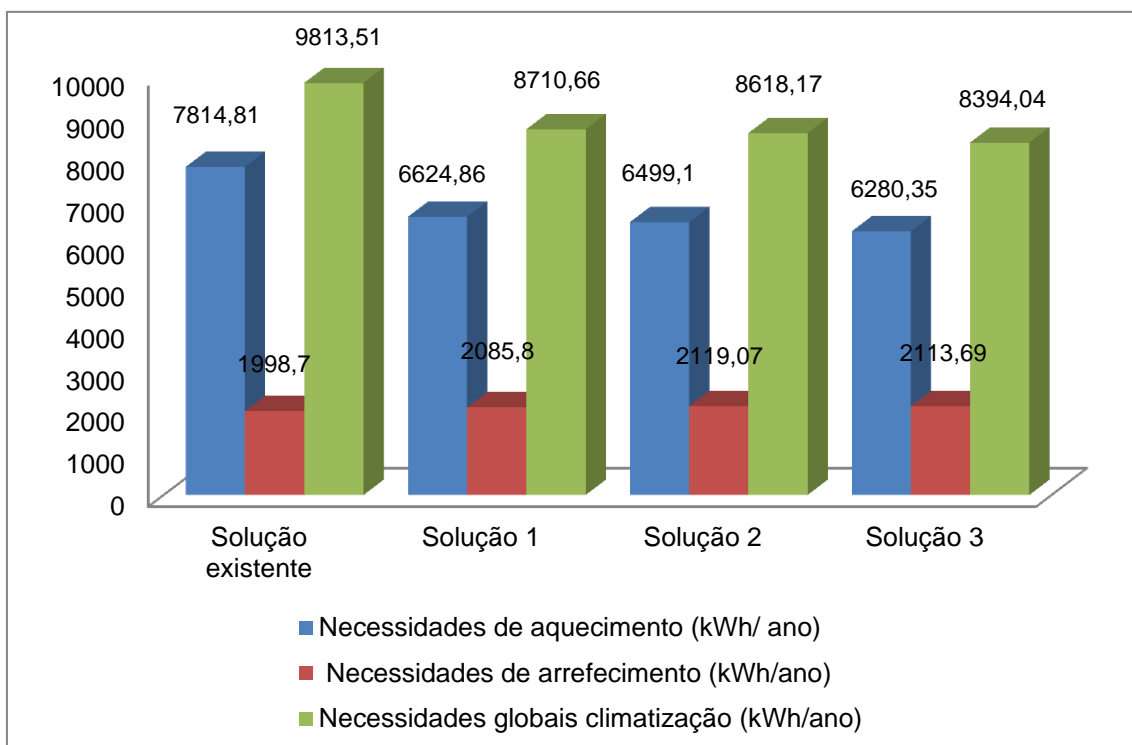


Figura 4.20 - Necessidades totais de climatização das diversas soluções estudadas

Da análise dos resultados pode-se verificar que em todas as soluções alternativas apresentadas existe uma diminuição das necessidades de aquecimento e um ligeiro aumento das necessidades de arrefecimento relativamente à solução existente. Esta última situação deve-se à redução das perdas energéticas existente na estação de arrefecimento (Verão). De qualquer forma, importa salientar que em todas as soluções alternativas existe uma redução considerável nas necessidades globais de climatização.

Comparando todas as soluções, pode-se verificar que a solução mais eficiente é a solução 3, conseguindo obter poupanças energéticas a rondar os 14,5% (1420 KWh/ano). Nas necessidades de aquecimento conseguem-se obter poupanças a rondar os 19,6% (1535 KWh/ano).

4.7. Análise de custo-benefício das soluções estudadas

Na tabela 4.14 e na figura 4.21 são apresentados os valores totais de cada solução. É possível verificar que a solução 3 é aquela que apresenta um valor mais aproximado ao da solução existente.

No Anexo XII encontram-se os cálculos detalhados dos custos para cada solução estudada. De referir que nas zonas de ponte térmica plana (pilare e viga), bem como na cobertura (laje) não foi contabilizado o valor do betão armado, pois não existe variação em relação a todas as soluções.

Tabela 4.24 - Custos das soluções estudadas

	Paredes (€/m ²)	Zona de PTP (€/m ²)	Cobertura (€/m ²)	Valor total da solução (€)
Solução existente	57,05	41,03	24,52	10754,89
Solução 1	62,79	31,99	24,11	11207,61
Solução 2	59,75	35,64	25,44	11116,66
Solução 3	69,48	28,85	17,37	10913,50

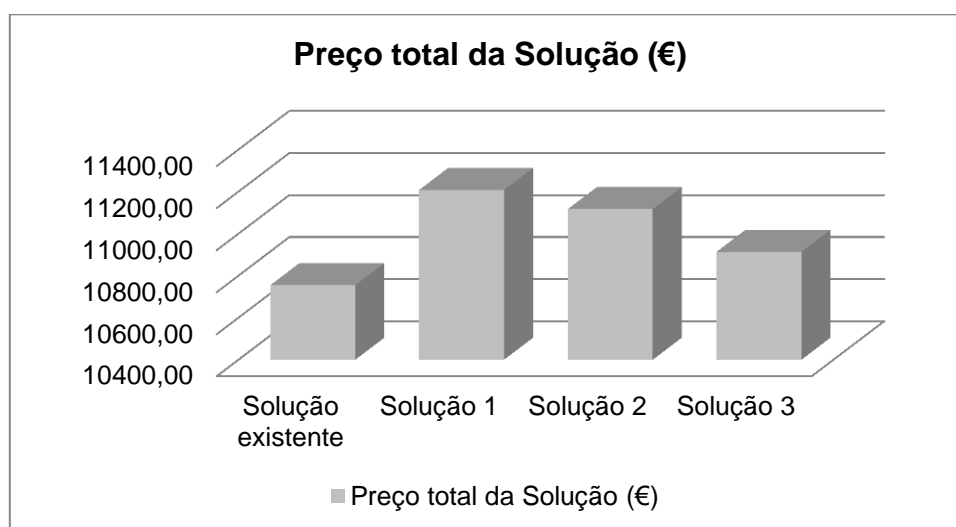


Figura 4.21 - Valores totais das soluções estudadas (€)

Na tabela seguinte pode ser observada a análise efectuada em termos de período de retorno do investimento efectuado, para as soluções alternativas:

Tabela 4.25 - Análise de período de retorno do investimento

	Solução existente	Solução 1	Solução 2	Solução 3
Custo total do investimento (€)	10754,89	11207,61	11116,66	10913,50
Acréscimo face à solução existente (€)	-	452,72	361,77	158,61
Consumos de energia anuais (kWh/ano)	9813,51	8710,66	8618,17	8394,04
Custo anual da factura eléctrica (€) (0,118 €/KWh)	1157,99	1027,86	1016,94	990,50
Poupanças energéticas globais de climatização (€)	-	130,14	141,05	167,50
Valor da poupança anual de energia (€)	-	15,36	16,64	19,76
Período de retorno do investimento (anos)	-	29,48	21,74	8,02

4.8. Energia Incorporada das soluções estudadas

Na tabela e gráficos seguintes encontram-se os valores finais de energia incorporada para as soluções em estudo.

No Anexo XIII encontram-se os valores detalhados da energia incorporada de cada uma das soluções.

Tabela 4.6 - Energia incorporada das soluções estudadas

	Energia Incorporada MJ
Solução Existente	108912,52
Solução 1	71587,42
Solução 2	86824,80
Solução 3	75940,18

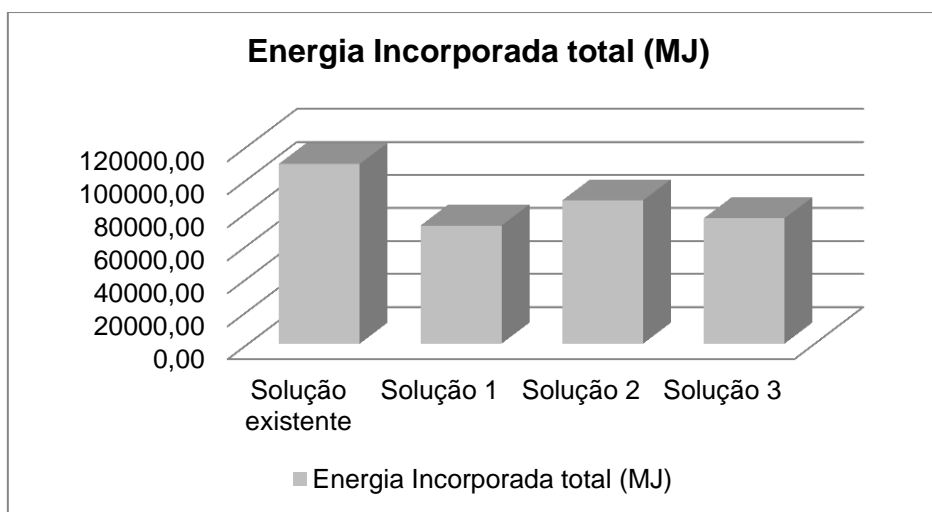


Figura 4.22 - Energia incorporada das soluções estudadas

De referir que, por exemplo na solução 1 (aquela que tem menor energia incorporada), existe uma redução em cerca de 37325 MJ (cerca de 10368 KWh). A solução 1, em termos de energia incorporada, representa aproximadamente apenas 65% do valor da solução existente.

4.9. Emissões de Dióxido de Carbono (CO₂) das soluções estudadas

Na tabela e gráficos seguintes encontram-se os valores finais de emissões de Kg de CO₂ na atmosfera para as soluções em estudo.

No Anexo X encontram-se os valores detalhados de cada uma das soluções.

Tabela 4.7 - Emissões de Dióxido de Carbono para a atmosfera das soluções estudadas

	Emissões Kg CO ₂
Solução Existente	7376,51
Solução 1	6802,55
Solução 2	6586,87
Solução 3	6197,26

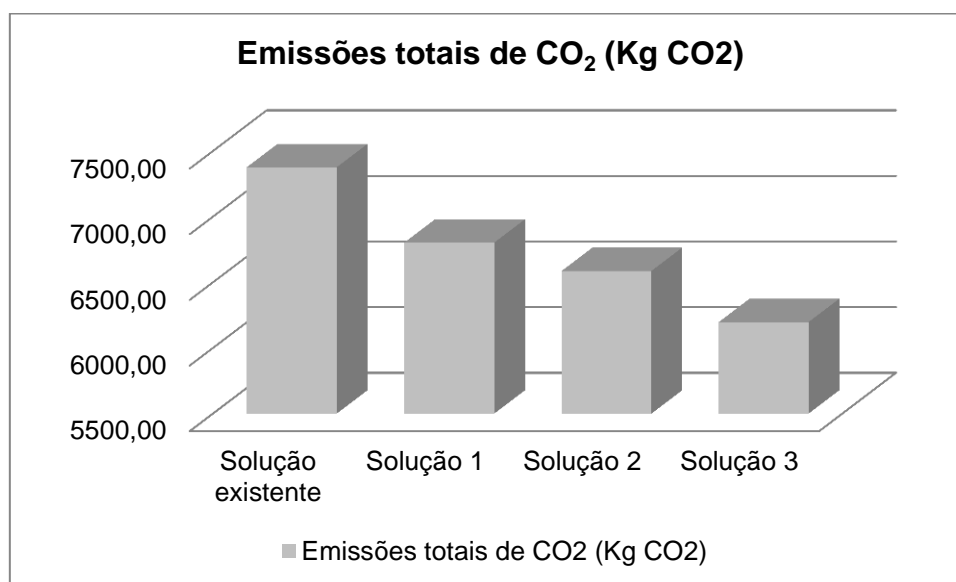


Figura 4.23 - Emissões totais de CO₂ das soluções estudadas

A solução 3 é a que apresenta um valor inferior nas emissões de CO₂ para a atmosfera. Esta solução consegue obter uma redução de cerca de 1179,3 Kg CO₂, sendo uma redução de cerca de 16% nas emissões de dióxido de carbono para a atmosfera.

4.10. Envidraçados – custo-benefício

Relativamente aos vidros, a solução existente possui uma solução com vidro duplo (2x4mm), com 14 mm de caixa-de-ar, enquanto em todas as soluções alternativas foram usados vidros duplos (2x4mm), com 16 mm preenchidos com gás Árgon. Na tabela seguinte encontram-se os preços para os dois tipos de vidro utilizados.

Tabela 4.28 - Custos dos vidros para as soluções existente e alternativas

Solução	Preço (€/m ²)	Mão-de-obra (€/m ²)	Total (€/m ²)
Existente	22,2	7,86	30,06
Alternativas	27,41	7,86	35,27

Relativamente às caixilharias, na solução existente a caixilharia é de alumínio anodizado, enquanto nas soluções alternativas o material utilizado foi a madeira (pinho). Os valores dos custos detalhados para cada uma das janelas existentes, são apresentados no Anexo XIV.

Na tabela seguinte são apresentados os valores totais para os envidraçados das soluções:

Tabela 4.29 - Custos dos envidraçados (caixilharia + vidros) utilizados nas soluções estudadas

Solução	Caixilharias (€)	Vidros – Preço Total (€)	Total (€)
Existente	2506,29	517,63	3023,92
Alternativas	4393,87	607,35	5001,22

A opção por a escolha da madeira consegue trazer benefícios consideráveis para o ambiente em relação à escolha do alumínio. Nos gráficos seguintes são apresentados valores relativamente à energia incorporada e emissões de dióxido de carbono de ambas as soluções estudadas em termos de envidraçados. No Anexo XIV é também possível verificar os cálculos efectuados para a energia incorporada e emissões de dióxido de carbono das soluções.

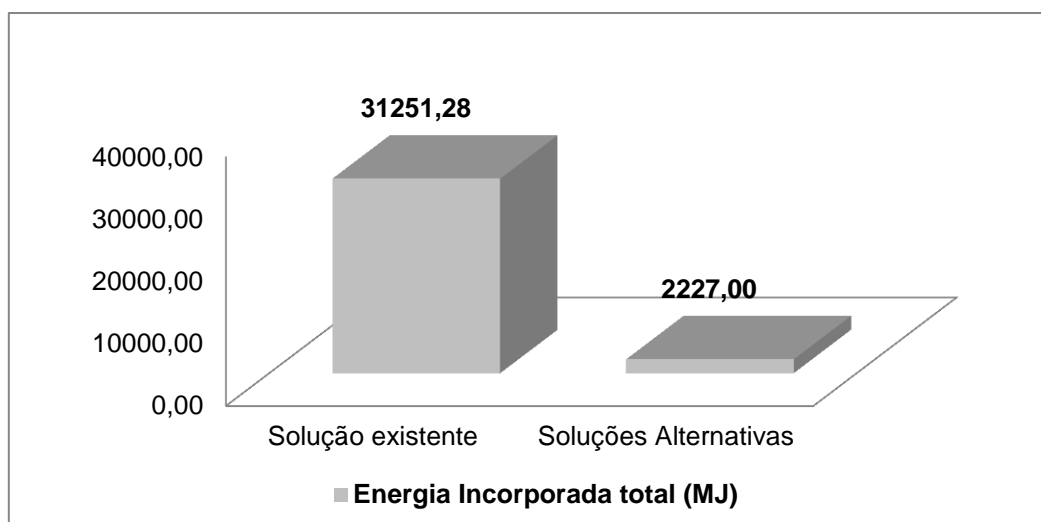


Figura 4.24 - Energia incorporada total nas soluções de envidraçados estudadas

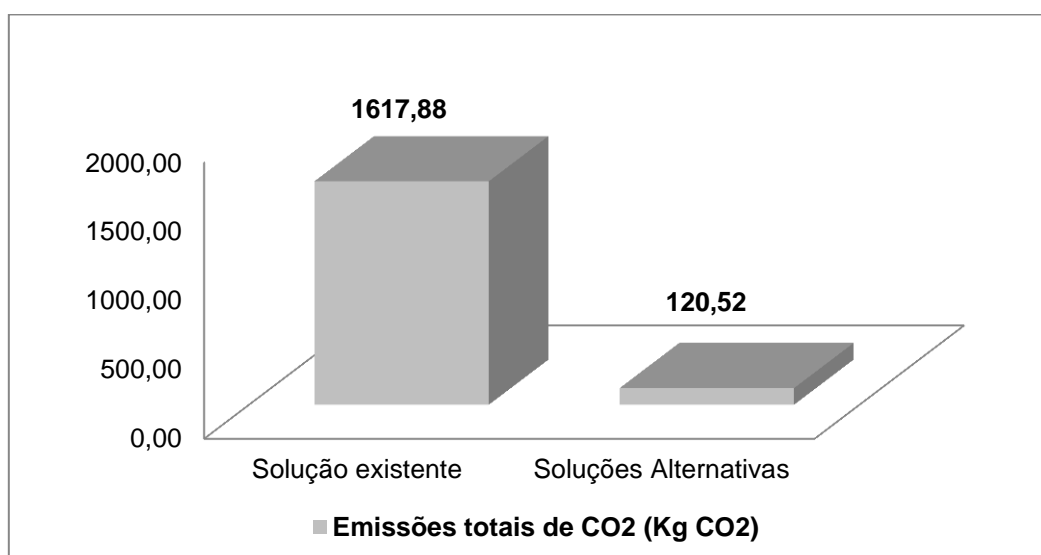


Figura 4.25 - Emissões totais de CO₂ nas soluções de envidraçados estudadas

Da análise dos gráficos, verifica-se que é possível obter uma redução muito considerável de energia incorporada das soluções e emissões de dióxido de carbono para a atmosfera. Esta situação deve-se às grandes diferenças de sustentabilidade existentes na utilização do alumínio e da madeira.

5. CONCLUSÕES

5.1. Conclusão

Com as crescentes preocupações ambientais e de desenvolvimento sustentável, torna-se fulcral entender e identificar causas e responsabilidades para o crescente aumento de consumo de energia verificado.

Sendo o sector dos edifícios, um dos responsáveis por este elevado consumo pretendeu-se, através da realização da presente dissertação, contribuir para a compreensão da importância da diminuição do consumo de energia e consequentemente da emissão de Dióxido de Carbono para atmosfera, que tanto contribuem para o aquecimento global e a escassez de recursos que se tem verificado cada vez mais.

Os aspectos construtivos dos edifícios têm um papel importante na procura de reduzir os consumos energéticos. A utilização de materiais mais sustentáveis e capazes de aumentar a eficiência energética das edificações torna-se hoje essencial num contexto de sustentabilidade para uma melhor prestação energética, o que por si só significa uma poupança nos gastos de energia para climatização e contribuindo, através das suas características mais ambientais, para a protecção do meio ambiente através de uma redução significativa da energia incorporada nos materiais.

Na presente dissertação foi desenvolvida uma análise de um caso onde, através da comparação entre a solução construtiva existente e propostas alternativas, foi possível comprovar as vantagens da utilização deste tipo de materiais de construção mais eficiente para a conservação de energia na construção de edifícios.

A análise das propostas de melhoria incidiu essencialmente nos dois seguintes parâmetros:

- Poupança de consumo energético em termos de climatização
- Redução dos Impactes Ambientais (Energia Incorporada e Emissões de CO₂ por parte dos materiais)

Na tabela 5.1 são apresentados os principais resultados obtidos através do caso de estudo realizado, no que se refere à percentagem de poupança de energia em termos de climatização, à redução dos impactes ambientais (Energia Incorporada e Emissões de CO₂) e período de retorno financeiro (em anos) correspondente à introdução de cada uma das soluções de melhoria propostas.

Tabela 5.1 – Quadro resumo dos principais resultados obtidos com a análise do caso de estudo

Solução de melhoria	Poupança de Energia (%)	Redução dos Impactes Ambientais (%)		Período de Retorno (anos)
		Energia Incorporada	Emissões de CO ₂	
Solução 1	11,2	34,3	7,8	29,5
Solução 2	12,2	20,3	10,7	21,7
Solução 3	14,5	30,3	16	8

Através da análise dos resultados concluiu-se que a Solução 3 (constituída por Blocos de betão celular autoclavado, isolamento à base de fibras de madeira e revestimento exterior e interior com cortiça natural projectada em emulsão e argamassa de cal respectivamente) é aquela que consegue obter melhores resultados globais. Consegue poupanças de Energia significativas (cerca de 14,5%) e reduções consideráveis em termos de impactes ambientais. Além disso, possui um retorno financeiro excelente (cerca de 8 anos).

Foi possível concluir que a construção com este tipo de materiais apresenta uma grande vantagem, pois contribui para uma redução importante nas necessidades energéticas dos edifícios, como também para a redução dos impactes ambientais tudo isto, com vantagens em termos de relação custo-benefício porque, apesar destas soluções alternativas apresentarem um custo relativamente superior à solução corrente, têm um período de retorno bastante mais favorável ao contexto de desenvolvimento sustentável que se pretende ver implementado no sector da construção.

5.2. Desenvolvimentos futuros

É importante que a temática sobre as vantagens dos materiais de construção energeticamente eficientes e mais ecológicos do ponto de vista da sustentabilidade não se esgote na comparação e procura das vantagens destes materiais relativamente aqueles que são correntemente utilizados.

Será importante aferir-se da sensibilidade actual de todos os intervenientes do processo de construção dos edifícios (arquitectos, projectistas, engenheiros) para o problema, tentado perceber e quantificar a implementação de estratégias sustentáveis nas suas actividades e se este tipo de materiais podem ser incorporados nas soluções actualmente concebidas e praticadas nas mais diversas empresas de construção nacionais e internacionais. Esta situação poderá ser estudada futuramente através de análises estatísticas e inquéritos/questionários às diversas empresas existentes no mercado e aos intervenientes directos no processo de construção, constituindo uma base de trabalho para um futuro manual de boas práticas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TORGAL, F.; P.; JALALI, S. - *A sustentabilidade dos materiais de construção*. Edição TecMinho, Guimarães, Portugal, 2010
- [2] IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change - 4th Assessment report*, 2007
- [3] TORGAL, F.; P.; JALALI, S. - *Construção Sustentável. O caso dos materiais de construção*. 3º Congresso Nacional de construção 17 a 19 de Dezembro, Coimbra, Portugal, 2007
- [4] BRUNDTLAND, G. - *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development*, Oxford, Oxford University Press, 1987
- [5] AGENDA 21 – http://www.agendacascais21.net/Files/Billeder/Agenda21/docs/Agenda21-Documento_Integral_Portugues-Brasil.pdf (11/11/2011)
- [6] RESOLUÇÃO DE CONSELHO DE MINISTROS Nº 109/2007 - Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável ENDS 2015 e Plano de implementação, Diário da república, 1ª série, nº 159, 20 de Agosto de 2007
- [7] HANNEQUART, J. P. - European waste policy. In Conferências Lipor – *Os Desafios do Século XXI*, Valongo, 2002
- [8] PINHEIRO, M. D. - *Ambiente e Construção Sustentável*. Instituto do Ambiente, Amadora, 2006
- [9] BUILDINGS PERFORMANCE INSTITUTE EUROPE – *Europe's buildings under the microscope*, 2011. http://www.bpie.eu/eu_buildings_under_microscope.html (17/11/2011)
- [10] ITIC - *Construção: Uma visão de futuro – crescimento. Estagnação ou recessão*, 2006 <http://www.aecops.pt/Downloads/tabid/107/language/pt-PT/Default.aspx> (17/11/2011)
- [11] INE - Newsletter nº 9 – Censos 2011 – V recenseamento geral da habitação. INE, Instituto Nacional de Estatística, 2011
- [12] INE - Estatística da Construção e habitação 2010. INE, Instituto Nacional de Estatística, 2011
- [13] EUROSTAT - Estatísticas (main tables). http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables (07/12/2011)
- [14] GONÇALVES, H.; JOYCE, A.; SILVA, L. - Fórum energias renováveis em Portugal – *Uma contribuição para os objectivos da política energética e ambiental*, ADENE/INETI, Lisboa, Dezembro, 2002
- [15] EUROSTAT - *Energy Yearly statistics 2008*. Eurostat, Luxemburgo, 2010

- [16] MATEUS, R. - *Novas Tecnologias Construtivas com vista à Sustentabilidade da Construção*. Universidade do Minho. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, 2004
- [17] JARDIM, F. - *Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação*. Universidade do Minho. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da Construção, 2009
- [18] ENERBUILDING - *Eficiência energética nos edifícios residenciais*. Manual do Consumidor. Grupo de Trabalho Transnacional, Lisboa, 2008
- [19] CEPINHA, E. - *A certificação energética de edifícios como estratégia empresarial do sector da construção*. Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, 2007
- [20] ADENE- Agência para a Energia, Certificação Energética e Ar Interior Edifícios - Relatório Síntese Certificação e Registo Março/Junho 2009.
- [21] ADENE. Certificação Energética e Ar Interior. Agência para a Energia. Portugal, 2009
- [22] LISBOA E-NOVA - Agência Municipal de Energia e Ambiente. Breve resumo com as medidas do PNAEE (Resolução Conselho de Ministros n.º 80/2008) relevantes para reabilitação. Lisboa E-Nova, Lisboa, 2009.
- [23] BARROSO, L. - *Construção Sustentável – Soluções comparativas para o uso eficiente da água nos edifícios de habitação*. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, 2010
- [24] EUROSTAT - Consumers in Europe - Facts and figures on services of general interest. European Commission, Eurostat, 2007.
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DY-07-001/EN/KS-DY-07-001-EN.PDF (10/01/2012)
- [25] VIEIRA, P.; ALMEIDA, M.D.; RIBEIRO, R - *Uso eficiente da água no sector urbano*, Guia Técnico Nº.8. IRAAR, INAG e LNEC, Lisboa, 2006
- [26] EEA- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY - *Water resources across Europe - confronting water scarcity and drought*, EEA, Copenhaga, 2009
- [27] FARINHA, F.; ROCHETA, V. - *Práticas de projecto e construtivas para a construção sustentável*. 3º Congresso Nacional de Construção. Universidade de Coimbra, 2007
- [28] INR - REAGIR (Reciclagem de entulho no âmbito da gestão integrada de resíduos). Relatório - Gestão de Resíduos de construção e demolição em Portugal., 2005
- [29] COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS - *Para uma estratégia temática de prevenção e reciclagem de resíduos*, Jornal Oficial, 2003

- [30] TEIXEIRA, J. M.; ALMEIDA, M.G. - *Tecnologias de construção e utilização racional de energia*; Jornadas de Engenharia Civil 2001 – Promover um Desenvolvimento Sustentável, DEC – Universidade do Minho, Dezembro, 2001
- [31] LIPSMEIER, K.; GUNTHER, M. – *Wambuco: Manual europeu de resíduos de construção de edifícios*. Institute for Waste Management and Contaminated Sites Treatment of Dresden University of Technology, 2002
- [32] BERGE, BJORN - *The Ecology of Building Materials*. Ed. Architectural Press of Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 2000
- [33] BERTOLDI, P. E ATANASIU, B. - *Electricity Consumption and Efficiency Trends in the Enlarged European Union - Status report 2009*. IES - Institute for Environment and Sustainability, 2009
- [34] INE – *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*. INE, Instituto Nacional de Estatística, 2011
- [35] GABINETE PARA O DESENVOLVIMENTO DO SECTOR ENERGÉTICO - *Manual de Procedimentos Técnicos para a Conservação de Energia em Edifícios de Macau*, Junho 2009
- [36] ALMEIDA, M. - *Caracterização da Inércia Térmica de Paredes Maciças*. Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Térmica, 1987
- [37] KIBERT, C. - *Sustainable construction: green buildings design and delivery*, 2nd edition ISBN 978-0-470-11421-6, John Wiley & Sons, New Jersey, US, 2008
- [38] KIBERT, C. - *Establishing principles and model for sustainable construction*, in Proceedings of the First International Conference of CIB TG 16, Tampa, EUA, 1994
- [39] AMADO, M.P.; PINTO, A.J.; SANTOS, C.V; CRUZ, A. – *The Sustainable Building Process*. In CD: Ron Wakefield (eds): RMIT University, Australia, 2007
- [40] AMADO, M.P. - *Relatório de Candidatura à Concessão de Terrenos em Cacuaco – Angola*. Projecto Cacuaco Esperança. Cunhas e Irmãos, SARL, Luanda, 2009
- [41] AMADO, M.P. - *Planeamento Urbano Sustentável*. Caleidoscópio, Lisboa, 2005
- [42] BALDWIN, R.; YATES, A.; HOWARD, N.; RAO, S. - *BREEAM 98 for offices: an environmental assessment method for office buildings* – BRE Report. IHS BRE Press, Bracknell, Berkshire, 1998
- [43] MEISEL, A. - *LEED Material: A Resource Guide to Green Building*. Princeton Architectural, New York, EUA, 2010
- [44] LIDERA – *Liderar pelo ambiente na procura da sustentabilidade*. Apresentação Sumária do Sistema de Avaliação da Sustentabilidade da Construção, Versão para Ambientes Construídos (V2.00b). Lisboa, 2009.

- [45] LUCAS,V. - *Construção Sustentável – Sistemas de avaliação e certificação*. Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, 2011
- [46] BRAGANÇA, L. - *Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios*, Seminário Green It, INETI, Lisboa, 2008
- [47] EIRES, R. - *Materiais não convencionais para uma construção sustentável*. Universidade do Minho, 2006
- [48] BERNHEIM, A. - *Indoor air quality*, in Sustainable Building Technical Manual – Green Building Design, Construction, and Operation, Public Technologies, Inc, USA, 1996
- [49] WELLINGTON, U. - *Table of embodied energy coefficients*. Centre for Building Performance, 2005
- [50] TORGAL, F. P.;JALALI, S. - *Construção Sustentável. O caso dos materiais de construção*. 3º Congresso Nacional, Universidade de Coimbra, 2007
- [51] GIL,L. - *A cortiça como material de construção – Manual Técnico*. APCOR – Associação Portuguesa de Cortiça, 2000
- [52] ISOCOR - *Isolamento Perfeito em qualquer ambiente*. Aglomerados de Cortiça A.C.E, 2011. http://www.isocor.pt/por/pdf/brochura_2011.pdf (15/01/2012)
- [53] CORTICEIRA AMORIM, S.G.P.S.,S.A. – Relatório de sustentabilidade, 2006. <http://www.amorim.com/xms/files/CorticeiraAmorim/Sustentabilidade/rs07port.pdf> (15/01/2012)
- [54] MARQUES,L. - *O papel da madeira na sustentabilidade da construção*. Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Térmica, 2008
- [55] PELANATUREZA.PT - *Bambu é material ideal para construções sustentáveis*, 2011. <http://pelanatureza.pt/construcao-sustentavel/noticias/bambu-e-material-ideal-para-construcoes-sustentaveis-43174317> (18/01/2012)
- [56] LUCAS, S. - *Critérios ambientais na utilização de materiais de construção*. Universidade de Aveiro. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Gestão Ambiental e Valorização de resíduos, 2008
- [57] LOURENÇO, P. - *Construções em terra: Os materiais naturais como contributo à sustentabilidade na construção*. Instituto Superior Técnico. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Construção, 2002
- [58] BIOHABITAT – *Isofloc*, Portugal, 2009. http://www.biohabitat.pt/sites/biohabitat.pt/files/bht_isofloc.pdf (22/01/2012)

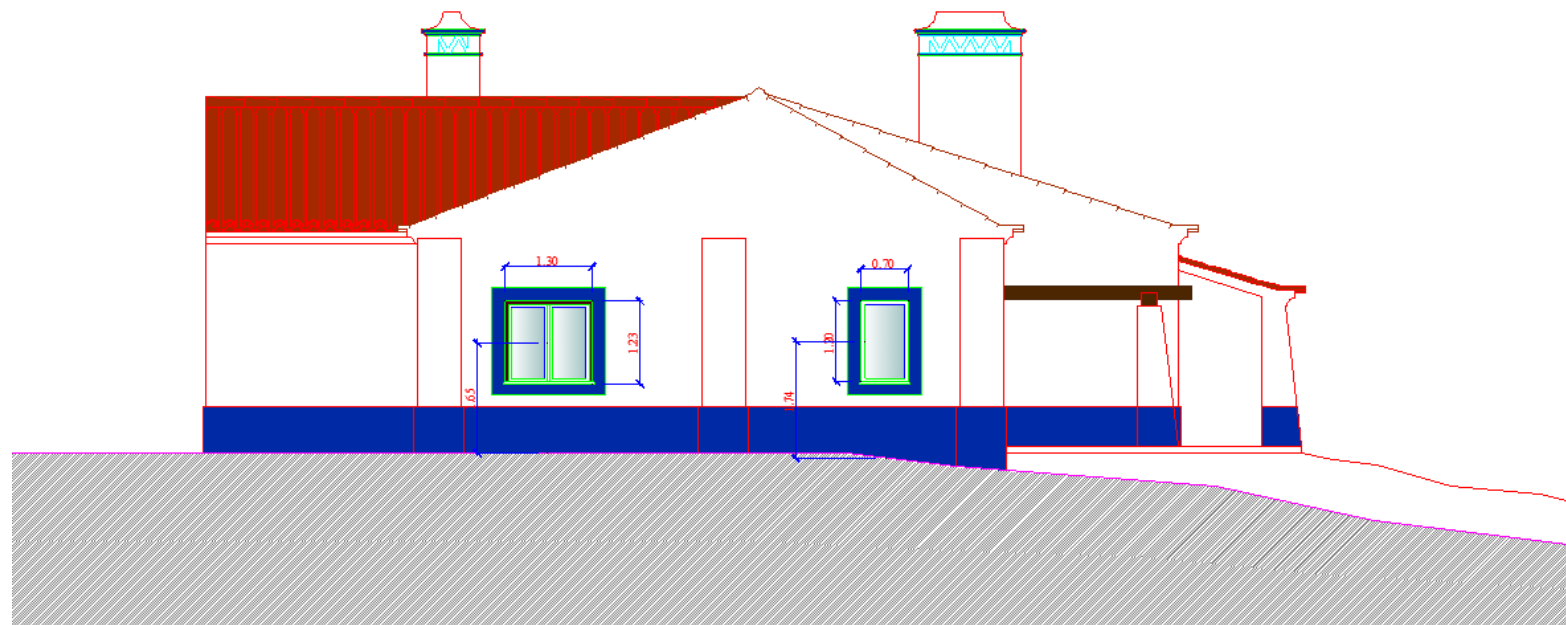
- [59] FERNANDES,F. - *Especificações para a reabilitação sustentável de edifícios* - Universidade de Aveiro. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, 2010
- [60] THERMO-HEMP - *Insulate and feel well*
http://www.thermo-hanf.de/cms/upload/pdf/Englisch/TH_prospekt_engl.pdf (23/01/2012)
- [61] STEICO NATURAL BUILDING PRODUCTS. We care about your well-being.
<http://www.jular.pt/pdf//Isolamento-termico-fibra-madeira-Steico.pdf> (23/01/2012)
- [62] ARGEX- argila expandida. http://www.argex.pt/documentos/FichaTecnica_Argex_3_8.pdf (25/01/2012)
- [63] ISOFLOC. http://www.biohabitat.pt/sites/biohabitat.pt/files/bht_isofloc.pdf (25/01/2012)
- [64] ISOLAMENTOS FOAMGLAS <http://www.pt.foamglas.com/produtos/> (27/01/2012)
- [65] HAMMOND,G.P.;JONES,C.I.- *Embodied energy and carbon in construction materials*. Proc. Instn Civil. Engrs:Energy, in press. University of Bath, 2008. www.bath.ac.uk/mech-eng/ser/embodied (27/01/2012)
- [66] WELLINGTON,U. - *Table of embodied energy coefficients*. Centre for building performance, 2005
- [67] PRECERAM. http://www.preceram.pt/documentos/c_t_preceram_t.pdf (25/01/2012)
- [68] AGGREGATE INDUSTRIES – ENVIROMASONRY
<http://www.aggregate.com/Documents/TDS/Masonry-block-Enviromasonry.pdf> (25/01/2012)
- [69] GUERREIRO,V. - *Paredes de Alvenaria em blocos de betão celular autoclavado*. Instituto superior técnico. Monografia, 2002
- [70] EIRES,R.;JALALI,S.;CAMÕES,A. - *Novos materiais de construção à base de gesso e desperdícios industriais*. 3º Congresso nacional de construção, 2007
- [71] CORKWALL – A pele natural do seu edifício. <http://www.acustekpro.com/media/1486/ficha-tecnica-ptpdf> (15/01/2012)
- [72] SILVA,A. - *Previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes*. Instituto Superior Técnico. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, 2009
- [73] SANTOS,F. - *Benchmarking ambiental e de sustentabilidade para campus universitários*. Universidade Nova de Lisboa. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, 2009
- [74] PROJECTO FINEP 2386/04 – *Tecnologias para construção habitacional mais sustentável*. São Paulo, 2007
- [75] TORGAL,F.P.; JALALI,S. - *Artigo Técnico - Dossier eco-eficiência dos materiais de construção*, 2010

[76] COUTO, A.B. - *Desconstrução - Uma ferramenta para a sustentabilidade da construção*.
Comunicação do Seminário NUTAU'2006 – Inovações Tecnológicas e Sustentabilidade, 2006

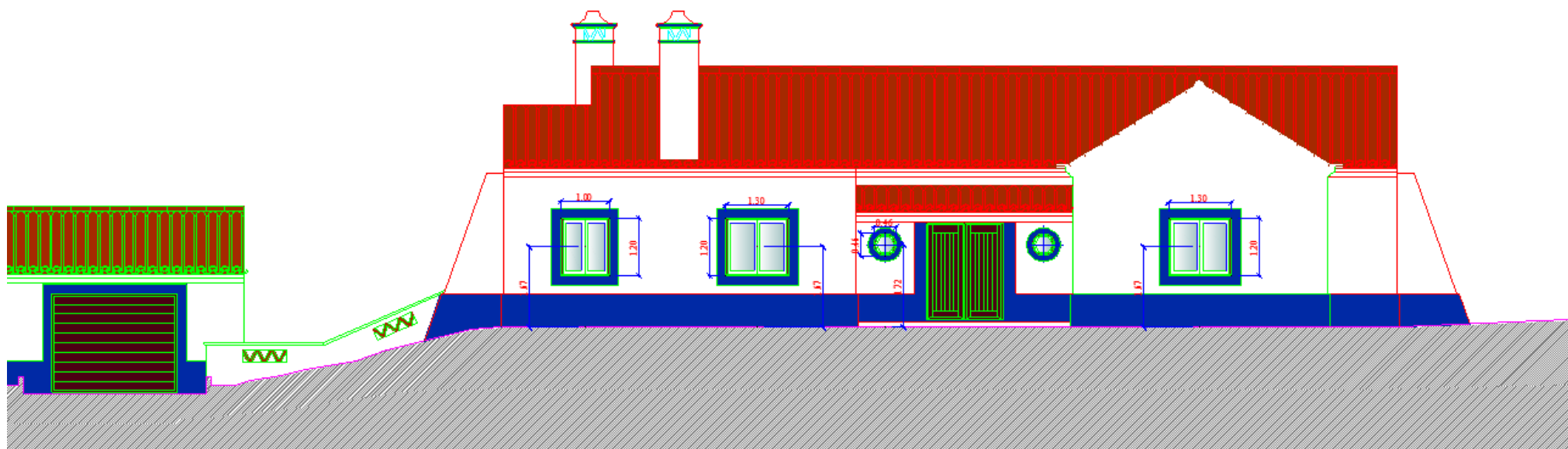
Anexo I.1 - Planta da moradia



Anexo I.2 - Alçado lateral direito e alçado principal

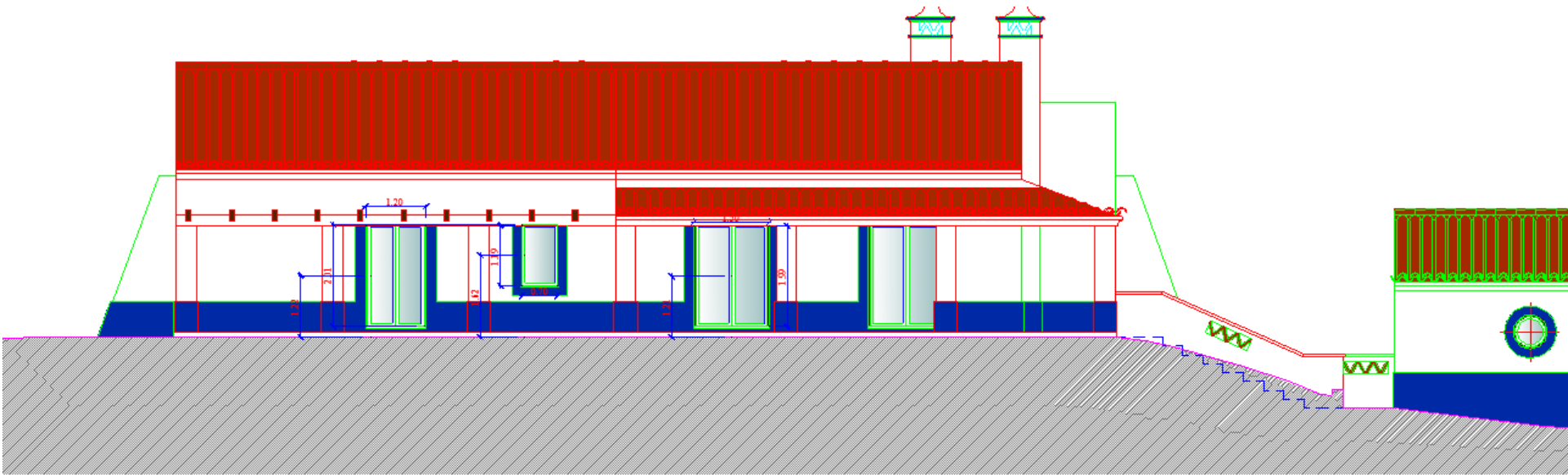
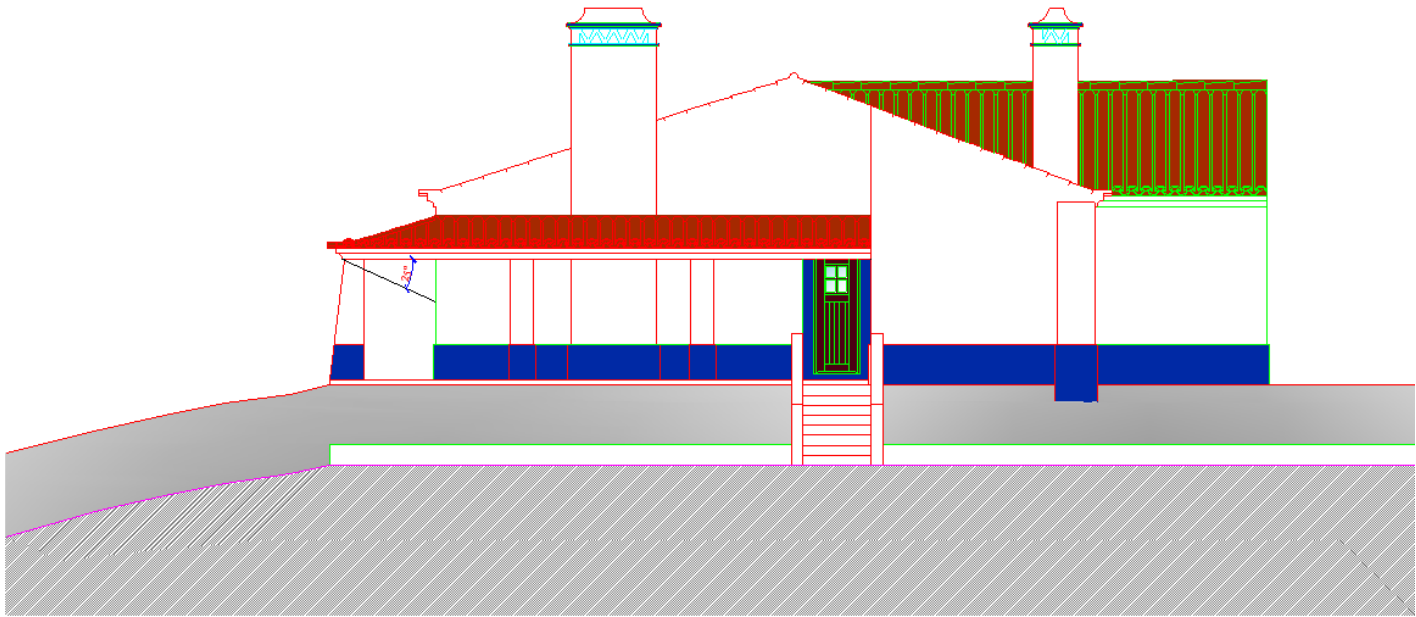


ALÇADO LAT. DIREITO



ALÇADO PRINCIPAL

Anexo I.3 - Alçado lateral esquerdo e alçado posterior



Anexo II - Cálculo das necessidades de aquecimento para a solução existente

Ficha FCIV.1a – Perdas associadas à envolvente exterior

Tabela II.1 – Cálculo das perdas associadas à envolvente exterior – Paredes exteriores (solução existente)

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U A (W/°C)
Paredes Exteriores NE	17,940	0,54	9,756
Paredes Exteriores NW	36,340	0,54	19,76
Paredes Exteriores SE	31,976	0,54	17,39
Paredes Exteriores SW	16,800	0,54	9,14
	103,06		
Pontes térmicas Planas - Pilar e viga			
NE	2,31	0,81	1,88
NW	5,51	0,81	4,48
SE	4,71	0,81	3,83
SW	2,70	0,81	2,20
Porta entrada	4,05	3,25	13,15
	240,61	TOTAL	81,58

Tabela II.2 – Cálculo das perdas associadas à envolvente exterior – Pontes Térmicas Lineares (solução existente)

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ B (W/°C)
PTL A	60,90	0,5	30,45
PTL D	60,90	0,6	36,54
PTL F	26,40	0,2	5,28
PTL G	0,00	0	0,00
PTL H	42,76	0	0,00
		TOTAL	72,27

Perdas pela envolvente exterior	(W/°C)	TOTAL	153,85
--	---------------	--------------	---------------

Ficha FCIV.1b – Perdas associadas à envolvente interior

Tabela II.3 – Cálculo das perdas associadas à envolvente interior – Paredes em contacto com espaços não úteis (solução existente)

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ U A (W/°C)
Parede em contacto c/ despensa (espaço não útil 1)	10,40	0,52	0,95	5,12
Portas interiores em contacto c/ despensa (espaço não útil 1)	1,60	2,51	0,95	3,82
TOTAL				8,11

Tabela II.4 - Cálculo das perdas associadas à envolvente interior – Coberturas Interiores (solução existente)

Coberturas Interiores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	τ (-)	τ U A (W/°C)
Laje em contacto c/ desvão n ventilado (espaço não útil 2)	149,16	0,60	0,80	71,59
TOTAL				71,59

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma (W/°C) TOTAL 80,53

Nota: O cálculo do coeficiente de redução de perdas térmicas para locais não aquecidos encontra-se apresentado no Anexo III.

Ficha FCIV.1c – Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores

Tabela II.5 – Cálculo das perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Verticais:			
Envidraçados SE	4,74	2,30	10,91
Envidraçados NW	9,24	2,30	21,25
Envidraçados NE	3,24	2,30	7,45
TOTAL			39,61

Ficha FCIV.1d – Perdas associadas à renovação de ar

Tabela II.6 – Cálculo das perdas associadas à renovação de ar (solução existente)

Área Útil de Pavimento	157,16	(m ²)
	x	
Pé-direito médio	2,70	(m)
	=	
Volume interior (V)	424,33	(m ³)

VENTILAÇÃO NATURAL

Cumprir a NP 1037-1? (S ou N) se SIM: RPH =

Se NÃO:

Classe da Caixilharia (s/c, 1, 2 ou 3)

Caixas de Estore (S ou N)

Classe de Exposição (1, 2, 3 ou 4)

Taxa de Renovação Nominal:

RPH=

Aberturas auto-reguláveis? (S ou N)

Área de envidraçados >15% Ap? (S ou N)

Portas Exteriores bem vedadas? (S ou N)

Volume	424,33	
	x	
Taxa de Renovação Nominal	0,80	
	x	
	0,34	
	=	
TOTAL	115,42	(W/°C)

Nota: O cálculo da taxa de renovação nominal encontra-se apresentado no Anexo IV.

Ficha FCIV.1e – Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Tabela II.7 – Cálculo dos ganhos solares brutos na estação de aquecimento - Inverno (solução existente)

Orientação	Tipo	Área (m ²)	X()	g [^] (-)	F _s (-) Fh Fo Ff	F _g (-)	F _w (-)	A _e (m ²)
SE1	Duplo	1,20	0,84	0,63	0,87	0,60	0,90	0,30
SE2	Duplo	1,56	0,84	0,63	0,86	0,60	0,90	0,38
SE3	Duplo	0,21	0,84	0,63	0,77	0,60	0,90	0,05
SE4	Duplo	0,21	0,84	0,63	0,77	0,60	0,90	0,05
SE5	Duplo	1,56	0,84	0,63	0,88	0,60	0,90	0,39
NE1	Duplo	1,56	0,33	0,63	0,88	0,60	0,90	0,15
NE2	Duplo	0,84	0,33	0,63	0,89	0,60	0,90	0,08
NE3	Duplo	0,84	0,33	0,63	0,90	0,60	0,90	0,08
NW1	Duplo	2,40	0,33	0,63	0,85	0,60	0,90	0,23
NW2	Duplo	0,84	0,33	0,63	0,78	0,60	0,90	0,08
NW3	Duplo	3,00	0,33	0,63	0,91	0,60	0,90	0,31
NW4	Duplo	3,00	0,33	0,63	0,91	0,60	0,90	0,31

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m ²)	2,41
x	
Radiação incidente num envidraçado a Sul (G _{sul}) na zona I1 (kWh/m ² .mês)	108,00
x	
Duração da estação de aquecimento (meses)	6,00
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)	1561,58

Tabela II.8 – Cálculo dos ganhos internos brutos na estação de aquecimento - Inverno (solução existente)

Ganhos internos médios	4,00	(W/m ²)
	x	
Duração da Estação de Aquecimento	6,00	(meses)
	x	
Área Útil de pavimento	157,16	(m ²)
	x	
	0,72	
	=	
Ganhos Internos Brutos	2715,72	(kWh/ano)

Tabela II.9 - Cálculo dos ganhos úteis totais na estação de aquecimento - Inverno (solução existente)

Ganhos Úteis Totais:			
$\gamma =$	Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos		4277,31
	Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)		12056,41
Inércia do edifício:	3,00	a =	4,2
		$\gamma =$	0,35
(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)			
Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos	(η)		0,99
			x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos			4277,31
			=
Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)			4241,61

No RCCTE, o produto $F_h \cdot F_0 \cdot F_f$ denomina-se factor de obstrução F_s . Para ter em atenção o facto de se verificar sempre radiação incidente difusa e reflectida nos envidraçados, o regulamento estabelece que o produto do factor de orientação X_j (quadro IV.4) pelo factor de obstrução F_s não pode ser inferior a 0,27:

$$X_j \cdot F_h \cdot F_0 \cdot F_f \geq 0,27 \text{ (se for deve-se efectuar correcção do } F_s \text{)}$$

Nota: O cálculo dos factores solares dos vidros envidraçados para a estação de aquecimento (Inverno) encontram-se no Anexo III.

Ficha FC IV.1f – Valor máximo das necessidades de aquecimento (Ni)

Tabela II.10 – Cálculo do valor máximo das necessidades de Aquecimento Ni

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m ²
Paredes exteriores		240,61
Coberturas exteriores		0,00
Pavimentos exteriores		0,00
Envidraçados exteriores		17,22
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)	257,84
Paredes interiores		11,40
Coberturas interiores		119,33
Pavimentos interiores		0,00
Envidraçados interiores		0,00
Área total:		388,56
		/
Volume (de FCIV.1d):		424,33
		=
Factor de forma FF		0,92
Graus-dias no local (°C.dia)		
		1290,00
		Auxiliar
N _i = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF ≤ 0,5	55,46
N _i = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF ≤ 1	75,30
N _i = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF ≤ 1,5	76,57
N _i = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	92,87
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - N_i (kWh/m².ano)		75,30

Ficha FC IV.2 – Cálculo do valor das necessidades de aquecimento (N_{ic})

Tabela II.11 – Cálculo do valor das necessidades de Aquecimento N_{ic}

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	153,85
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	80,53
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	39,61
Renovação de ar (de FCIV.1d)	115,42

	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	389,42
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1290,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	12056,41
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	4241,61
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	7814,81
	/
Área Útil de Pavimento (m ²)	157,16
	=
Necessidades Nominais de Aquecimento - N _{ic} (kWh/m ² .ano)	49,73
	≤
Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - N _i (kWh/m ² .ano)	75,30

REGULAMENTAR

Anexo III - Cálculo do coeficiente de redução de perdas térmicas para locais não aquecidos (τ)

Au – Área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior – linha a azul

Ai – Área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil – linha a vermelho

Espaço não aquecido 1 – Despensa

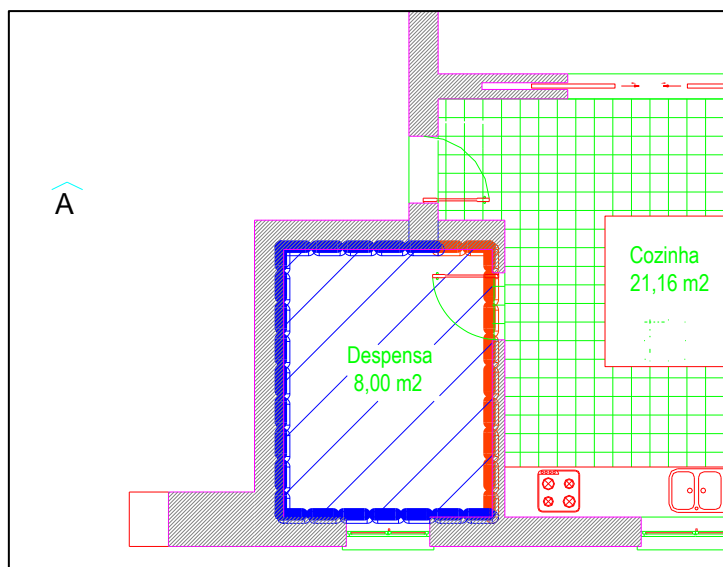


Figura III.1 – Espaço não aquecido 1 (despensa)

Tabela III.1 - Cálculo do coeficiente de redução de perdas térmicas para local não aquecido 1 (despensa)

Somatório de todas as áreas interiores		Ai		
Cobertura	8,00	18,395		
Paredes	10,40			
Somatório de todas as áreas exteriores		Au		
Cobertura	0,00	20,385		
Paredes	20,39			
Armazéns	Ai	18,40		Ai/Au
	Au	20,40		0,9
		Tabela IV.1 do RCCTE		0,95

Espaço não aquecido 2 – Desvão não ventilado

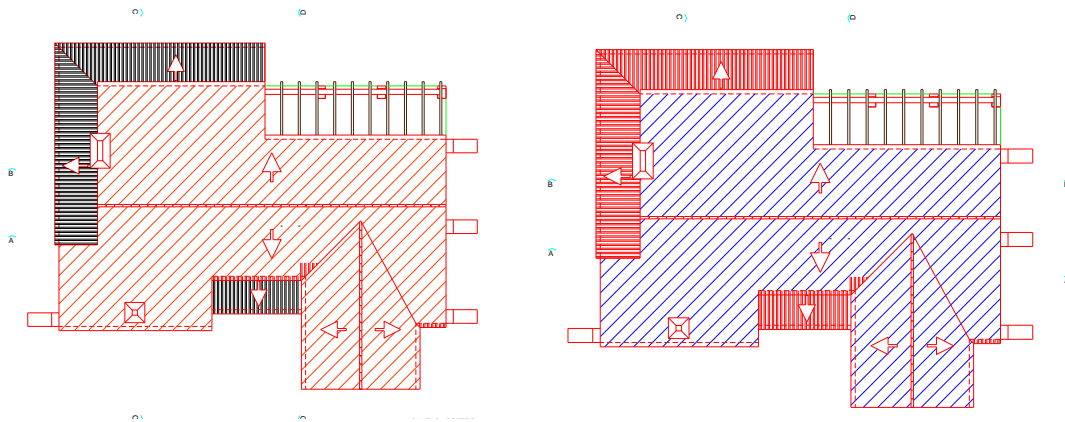


Figura III.2 – Espaço não aquecido 2 (desvão não ventilado)

Tabela III.2 - Cálculo do coeficiente de redução de perdas térmicas para local não aquecido 2 (desvão não ventilado)

Somatório de todas as áreas interiores		Ai			
Pavimento	149,16	149,16			
Paredes	0,0				
Somatório de todas as áreas exteriores		Au			
Cobertura	176,01	176,01			
Desvão não ventilado	Ai	149,2	Ai/Au	Tabela IV.1 do RCCTE	0,8
	Au	176	0,8		

Anexo IV - Cálculo da taxa de renovação horária nominal (Rph)

Sempre que os edifícios estejam em conformidade com as disposições da norma NP 1037-1 (o que deve ser objecto de demonstração clara e inequívoca pelo responsável pela aplicação do RCCTE), considera-se que o edifício é ventilado naturalmente e que $R_{ph} = 0,6 \text{ h}^{-1}$. Nestes edifícios não pode haver quaisquer meios mecânicos de insuflação ou de extracção de ar, nomeadamente extracção mecânica nas instalações sanitárias.

Nos casos de edifícios ventilados naturalmente, o valor de R_{ph} é determinado de acordo com o quadro IV.1, em função das seguintes características:

- Tipologia do edifício;
- Exposição ao vento;
- Permeabilidade ao ar da envolvente do edifício.

Para efeitos de aplicação do RCCTE, o grau de exposição é definido de acordo com o quadro IV.2.

A classe de permeabilidade ao ar da caixilharia prevista deve ser comprovada por resultados de ensaios de qualificação efectuados por um laboratório idóneo (LNEC), sobre o protótipo representativo da série comercial a que caixilharia pertence. São consideradas quatro classes de permeabilizadas ao ar, por ordem crescente de desempenho: Sem classificação, Classe 1, Classe 2 e Classe 3.

Tabela IV.1 – Dados com características do edifício e sua localização necessários para o cálculo da R_{ph}

Tipo de ventilação	Natural
Conforme a NP1037-1	Não
Portas bem vedadas	Sim
Classe de caixilharia	Classe 2 (admitido)
Área de vãos com estore (m ²)	0,00
Área de vãos sem estore (m ²)	17,22
Dispositivo de admissão na fachada	Não
Região	A (localizado a mais de 5 km da costa e Alt < 600 m)
Rugosidade	II (Periferia de zona urbana)
Altura média acima do solo	< 10 m
Classe de Exposição (Quadro IV.2)	Exposição 2

Através da consulta do Quadro IV.1 podemos retirar o valor de $0,85 \text{ h}^{-1}$, sendo que uma vez que todas as portas do edifício se encontram bem vedadas, este valor será reduzido em 0,05.

De notar também que, tendo em conta que a área de vãos envidraçados não excede os 15% da área útil de pavimento, não se aplica a agravante de 0,10.

Temos portanto um valor de **$R_{ph} = 0,8 \text{ h}^{-1}$** .

Anexo V - Cálculo dos factores solares dos envidraçados

Estação de Aquecimento (Inverno)

Factor solar do vão envidraçado (g_{\perp})

Na tabela IV.4 do RCCTE são apresentados os valores do factor solar de vários tipos de vidros sem dispositivos de protecção solar. Para maximizar o aproveitamento da radiação solar, os dispositivos de protecção solar móveis (estores, portadas, cortinas, etc.) admitem-se estar totalmente abertos, nessas circunstâncias sendo considerado apenas o valor do factor solar do vidro g_{\perp} .

Todavia, sempre que seja previsível a utilização de cortinas ou de outros dispositivos de protecção solar que normalmente permanecem fechados, estes devem ser considerados no factor solar do vão envidraçado. Portanto, no cálculo do factor solar de vãos envidraçados do sector residencial, salvo justificação em contrário, deve ser considerada a existência, pelo menos, de cortinas interiores muito transparentes de cor clara.

Neste caso de estudo e tratando-se de vidro duplo:

- Vidro duplo incolor c/cortinas interiores muito transparentes $\rightarrow g_{\perp} = 0,63$

Factores solares F_{θ}

F_h - factor de sombreamento do horizonte

Como não existe informação disponível sobre os ângulos com o horizonte, foi adoptado o valor definido pelo regulamento para estes casos (20° por se tratar de um edifício isolado fora das zonas urbanas).

F₀ - factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao vão envidraçado

Toma em conta o sombreamento provocado num vão envidraçado por palas, varandas ou outros elementos horizontais. F₀ depende do ângulo de incidência da radiação solar, das características geométricas do elemento de sombreamento sobreposto ao vão e da orientação deste (ver tabela IV.6).

F_f - factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ou sobrepostos ao vão envidraçado

Toma em conta o sombreamento provocado num vão envidraçado por palas opacas verticais ou outros elementos com efeito semelhante. F_f depende do ângulo de incidência da

radiação solar, das características geométricas do elemento de sombreamento sobreposto ao vão e da orientação deste varandas ou outros elementos horizontais (ver tabela IV.7).

A caracterização foi efectuada para cada um dos vãos numerados na figura seguinte:

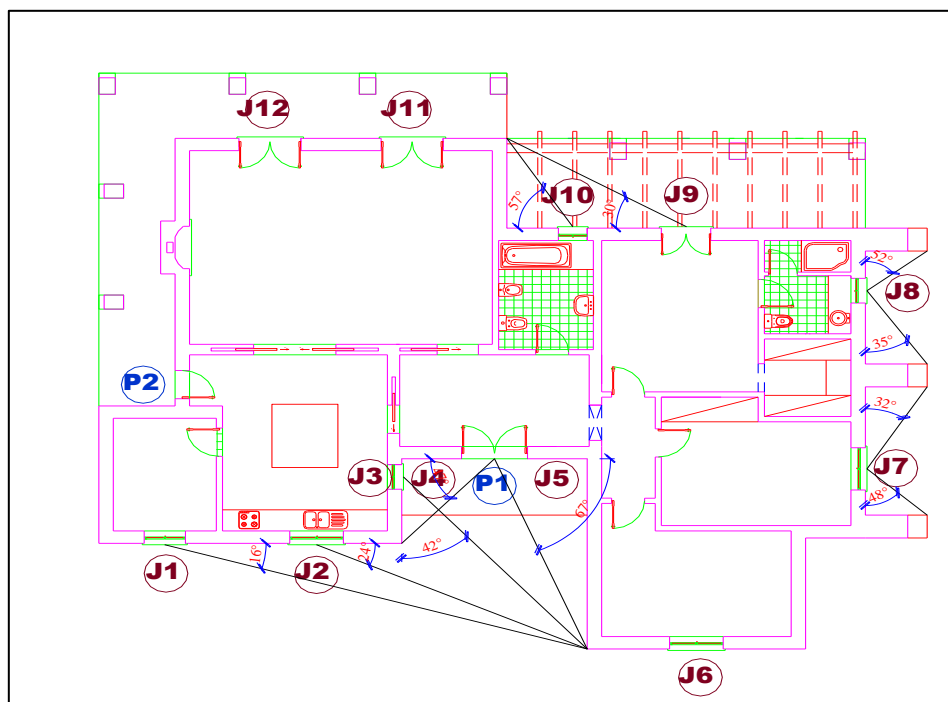


Figura V.1 – Envidraçados existentes na moradia em estudo e sua localização

Tabela V.1 – Cálculo dos factores solares dos envidraçados – Estação de Aquecimento (Inverno)

Vão	Área (m2)	Orientação	Fh	α horizontal	F0	α vertical esquerdo	α vertical direito	Ff
1	1,20	SE	0,88		1	16°		0,98
2	1,56	SE	0,88		1	24°		0,98
3	0,84	NE	0,96		1	90°	42°	0,93
4	0,21	SE	0,88		1	67°	47°	0,88
5	0,21	SE	0,88		1	67°	47°	0,88
6	1,56	SE	0,88		1			1,00
7	1,56	NE	0,96		1	32°	48°	0,92
8	0,84	NE	0,96		1	52°	35°	0,94
9	2,40	NW	0,96		1	30°		0,89
10	0,84	NW	0,96		1	57°		0,81
11	3,00	NW	0,96	25°	0,95			1
12	3,00	NW	0,96	25°	0,95			1
TOTAL	17,22							

Fg - fracção envidraçada

Traduz a redução da transmissão da energia solar associada a existência da caixilharia, sendo dada pela relação entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado (quadro IV.5). O valor usado no caso de estudo é de 0,6 (caixilho com quadricula – janelas de alumínio)

Fw - factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados

Traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar directa. Para vidros correntes simples e duplos assume o valor de 0,9.

Estação de Arrefecimento (Verão)

Factor solar do vão envidraçado (g_{\perp})

O factor solar do envidraçado deve ser tomado com dispositivos de sombreamento móveis activados a 70%. Neste caso o factor solar do vão envidraçado é igual à soma de 30% do factor solar do vidro $g_{\perp v}$ mais 70% do factor solar do vão envidraçado com a protecção solar móvel actuada g'_{\perp} .

O quadro V.4 lista os valores de factor solar do vão envidraçado com a protecção solar móvel activada a 100% (g'_{\perp}) mais habituais nos quais são utilizados vidros incolores correntes.

Na moradia em estudo, é usado vidro duplo e a caixilharia é metálica com portada de alumínio, usando-se portanto o valor de 0,09. O factor solar do vidro utilizado ($g_{\perp v}$) é de 0,75.

Logo temos: $g_{\perp} = 0,3 * g_{\perp v} + 0,7 * g'_{\perp} = 0,29$

Factores solares F_0

Fh - factor de sombreamento do horizonte

Na estação de arrefecimento considera-se que a fachada do edifício em estudo não é sombreada e portanto $F_h = 1$.

F0 - factor de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao vão envidraçado

Toma o mesmo significado já descrito na situação de Inverno. F_0 é obtido por consulta directa do quadro V.1.

Ff - factor de sombreamento por elementos verticais adjacentes ou sobrepostos ao vão envidraçado

Toma o mesmo significado já descrito na situação de Inverno. Ff é obtido por consulta directa do quadro V.2

Tabela V.2 - Cálculo dos factores solares dos envidraçados – Estação de Arrefecimento (Verão)

Vão	Área (m2)	Orientação	Fh	α horizontal	F0	α vertical esquerdo	α vertical direito	Ff
1	1,20	SE	1		1	16°		0,98
2	1,56	SE	1		1	24°		0,96
3	0,84	NE	1		1	90°	42°	0,85
4	0,21	SE	1		1	67°	47°	0,89
5	0,21	SE	1		1	67°	47°	0,89
6	1,56	SE	1		1			1,00
7	1,56	NE	1		1	32°	48°	0,93
8	0,84	NE	1		1	52°	35°	0,87
9	2,40	NW	1		1	30°		1,0
10	0,84	NW	1		1	57°		1,0
11	3,00	NW	1	25°	0,88			0,88
12	3,00	NW	1	25°	0,88			0,88
TOTAL	17,22							

Fg - fracção envidraçada

O valor do Fg permanece o mesmo, e portanto, pode ser obtido por consulta directa do quadro IV.5.

Fw - factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados

Para vidros correntes simples e duplos pode ser obtido por consulta directa do quadro V.3.

Anexo VI - Cálculo das necessidades de arrefecimento para a solução existente

Ficha FCV.1a – Perdas térmicas totais

Tabela VI.1 – Cálculo das perdas térmicas totais (solução existente)

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	81,58	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0,00	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0,00	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	39,61	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	115,42	(W/°C)
		=	
Perdas específicas totais		236,62	(W/°C)

Temperatura interior de referência	25,00	(°C)
	-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento	23,00	(°C)
	=	
Diferença de temperatura interior-exterior	2,00	
	x	
Perdas específicas totais	236,62	(W/°C)
	x	
	2,93	
	=	
Perdas térmicas totais	1385,62	(kWh)

Ficha FCV.1c – Ganhos solares pela envolvente opaca exterior

Tabela VI.2 – Cálculo dos ganhos solares pela envolvente opaca exterior (solução existente)

Orientação	PE_NE	PTP_NE	PE_SE	Porta_SE	PTP_SE	PE_SW	PTP_SW	PE_NW	PTP_NW
Área, A (m ²)	17,94	2,31	31,98	4,05	4,71	16,80	2,70	36,34	5,51
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
U (W/m ² .°C)	0,54	0,81	0,54	3,25	0,81	0,54	0,81	0,54	0,81
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
α	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	=	=	=	=	=	=	=	=	=
α.U.A (W/°C)	3,90	0,75	6,96	5,26	1,53	3,65	0,88	7,90	1,79
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
I _r (kWh/m ²)	330,00	330,00	460,00	460,00	460,00	470,00	470,00	330,00	330,00
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	51,51	9,93	127,98	96,80	28,21	68,70	16,52	104,34	23,65
TOTAL (kWh)									527,65

Ficha FCV.1d – Ganhos solares pelos envidraçados exteriores

Tabela VI.3 – Cálculo dos ganhos solares pelos envidraçados exteriores (solução existente)

Orientação	SE1	SE2	SE3	SE4	SE5	NE1	NE2	NE3	NW1	NW2	NW3	NW4
Área, A (m ²)	1,20	1,56	0,21	0,21	1,56	1,56	0,84	0,84	2,40	0,84	3,00	3,00
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
g_{\perp}	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
F_q (Quadro IV.5)	0,60	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
$F_s = F_h F_o$ F_f	0,98	0,96	0,89	0,89	1,00	0,93	0,85	0,87	1,00	1,00	0,88	0,88
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
F_w	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
Área Efectiva, A_e	0,17	0,26	0,03	0,03	0,27	0,25	0,12	0,12	0,41	0,14	0,45	0,45
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
I_r (kWh/m ²)	460,00	460,00	460,00	460,00	460,00	330,00	330,00	330,00	330,00	330,00	330,00	330,00
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	79,46	118,05	14,76	14,76	122,97	82,04	40,14	41,09	135,72	47,50	149,85	149,85
TOTAL (kWh)												996,19

Nota: O cálculo dos factores solares dos vidros envidraçados para a estação de arrefecimento (Verão) encontram-se no Anexo V.

Ficha FCV.1e – Ganhos Internos Totais

Tabela VI.4 – Cálculo dos ganhos internos totais (solução existente)

Ganhos Internos médios (W/m ²)	4,00	
	x	
Área Útil de Pavimento (m ²)	157,16	
	x	
	2,93	
	=	
Ganhos internos Totais	1840,66	(kWh)

Ficha FCV.1f – Ganhos Totais na estação de arrefecimento (Verão)

Tabela VI.5 – Cálculo dos ganhos térmicos totais na estação de aquecimento – Verão (solução existente)

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)	996,19	(kWh)
	+	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)	527,65	(kWh)
	+	
Ganhos internos (FCV.1e)	1840,66	(kWh)
	=	
Ganhos Térmicos Totais	3364,50	(kWh)

Ficha FCV.1g – Valor das necessidades nominais de arrefecimento (Nvc)

Tabela VI.6 – Cálculo do valor das necessidades nominais de arrefecimento Nvc (solução existente)

Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)	3364,50	(kWh)
	/	
Perdas Térmicas Totais (FCV.1a)	1385,62	(kWh)
	=	
Relação Ganhos-Perdas g	2,43	
Inércia do edifício (In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)	3,00	

	1,00	
	-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η	0,41	
	=	
	0,59	
	x	
Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)	3364,50	(kWh)
	=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento	1998,70	(kWh/ano)
	+	
Consumo dos ventiladores	0,00	
	=	
TOTAL	1998,70	(kWh/ano)
	/	
Área Útil de Pavimento (m ²)	157,16	
	=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - N_{vc}	12,72	(kWh/m ² .ano)
	≤	
Necessidades Nominais de Arrefecimento Máximas - N_v	32,00	(kWh/m ² .ano)

REGULAMENTAR

Anexo VII - Cálculo das necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias

Tabela VII.1 – Cálculo das necessidades de energia para preparação de AQS

Nº de ocupantes	4,00
Consumo médio diário de referência de AQS (M_{AQS}) (edifícios residenciais - 40 litros/ocupante)	160,00
Aumento de temperatura necessário (ΔT) (considerar igual a 45°C)	45,00
Número anual de dias de consumo (n_d)	365,00
Energia despendida com sistemas convencionais (Q_a) (kW.h/ano)	3056,51
Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS (η_a)	0,90
Esolar*	
E_{ren}	0,00
Necessidades de energia para preparação de AQS, N_{ac}	21,61
Valor máximo para as nec. de energia para preparação de AQS, N_a	30,10

REGULAMENTAR

Anexo VIII - Cálculo das necessidades globais de energia primária

Tabela VIII.1 – Cálculo das necessidades globais de energia primária (solução existente)

Valor Limite das Necessidades de Energia para Aquecimento, N_i (kWh/m ² . ano)	75,30
Necessidades de Energia para Aquecimento, N_{ic} (kWh/m ² . ano)	49,73
Valor Limite das Necessidades de Energia para Arrefecimento, N_v (kWh/m ² . ano)	32,00
Necessidades de Energia para Arrefecimento, N_{vc} (kWh/m ² . ano)	12,72
Valor Limite das Necessidades de Energia para AQS, N_a (kWh/m ² . ano)	30,10
Necessidades de Energia para AQS, N_{ac} (kWh/m ² . ano)	21,61
Eficiência nominal dos equipamentos para aquecimento, η_i	1,00
Eficiência nominal dos equipamentos para arrefecimento, η_v	3,00
Factor de conv. de energia útil para energia primária - aquecimento F_{pui} (kgep/kW.h)	0,09
Factor de conv. de energia útil para energia primária - arref., F_{puv} (kgep/kW.h)	0,29
Factor de conversão de energia útil para energia primária - AQS, F_{pua} (kgep/kW.h)	0,09
Necessidades nominais globais de energia primária, N_{tc} (kgep/m ² .ano)	2,41
Valor máximo das nec. nominais globais de energia primária, N_t (kgep/m ² .ano)	5,03

REGULAMENTAR !

Anexo IX - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) das soluções alternativas propostas

Solução 1

Tabela IX.1 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes exteriores da solução alternativa 1

DESCRIÇÃO: Parede exterior – 32,5 cm				
No.	Camada	espessura (m)	λ ($W/m \cdot ^\circ C$)	R ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
1	Reboco de argamassa de cal 2 cm	0,02	0,80	0,03
2	Tijolo solo-cimento 10 cm	0,1		0,07
3	Caixa-de-ar com 3 cm	0,03		0,18
4	Isolamento à base de Cânhamo 6 cm	0,06	0,038	1,58
5	Tijolo solo-cimento 10 cm	0,1		0,07
6	Placa de gesso laminado 1,5 cm	0,015	0,25	0,06
		0,325		
	Rsi	0,13		1,98
	Rse	0,04		
			U =	0,46

Tabela IX.2 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes em contacto com zona não aquecida (despensa) da solução alternativa 1

DESCRIÇÃO: Parede Interior em contacto com zona não aquecida (despensa) – 32,5 cm				
No.	Camada	espessura (m)	λ ($W/m \cdot ^\circ C$)	R ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)
1	Reboco de argamassa de cal	0,02	0,80	0,03
2	Tijolo solo-cimento 10 cm	0,1		0,07
3	caixa de ar com 3 cm	0,03		0,18
4	Isolamento à base de Cânhamo 6 cm	0,06	0,038	1,58
5	Tijolo solo-cimento 10 cm	0,1		0,07
6	Placa de gesso laminado 1,5 cm	0,015	0,25	0,06
		0,325		
	Rsi	0,13		1,98
	Rse	0,04		
			U =	0,45

Tabela IX.3 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico da zona de PTP da solução alternativa 1

DESCRÇÃO: Zona de Pontes térmicas planas – 32,5 cm				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m²°C/W)
1	Reboco de argamassa de cal 2 cm	0,02	0,80	0,03
2	Isolamento à base de Cânhamo 4 cm	0,04	0,038	1,05
3	Pilar ou Viga de betão 25 cm	0,25	2,00	0,13
4	Placa de gesso laminado 1,5 cm	0,015	0,25	0,06
		0,325		
	Rsi	0,13		1,26
	Rse	0,04		
			U =	0,70

Tabela IX.4 - Cálculo do coeficiente de transmissão da laje em contacto com zona não aquecida (desvão não ventilado) da solução alternativa 1

DESCRÇÃO: Cobertura em contacto com desvão não ventilado – 28 cm				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m²°C/W)
1	Isolamento à base de Cânhamo 6cm	0,06	0,038	1,58
2	Laje de betão 20 cm	0,2	2,00	0,10
3	Placa de gesso laminado 1,5 cm	0,015	0,25	0,06
		0,28		
	Rsi	0,1		1,74
	Rse	0,1		
			U =	0,52

Solução 2

Tabela IX.5 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes exteriores da solução alternativa 2

DESCRÇÃO: Parede exterior - 32 cm				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m²°C/W)
1	Cortiça Natural projectada em emulsão (2 cm)	0,02	0,07	0,29
2	Aglomerado Cortiça expandida 5 cm	0,05	0,04	1,25
3	Tijolo térmico 24 cm (30*19*24)	0,24		1,07
4	Estuque de gesso 1 cm	0,01	0,25	0,04
		0,32		
	Rsi	0,13		2,82
	Rse	0,04		
			U =	0,35

Tabela IX.6 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes em contacto com zona não aquecida (despensa) da solução alternativa 2

DESCRIÇÃO: Parede Interior em contacto com zona não aquecida (despensa) – 32 cm				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m²°C/W)
1	Cortiça Natural projectada em emulsão (2 cm)	0,02	0,07	0,29
2	Aglomerado Cortiça expandida 5 cm	0,05	0,04	1,25
3	Tijolo térmico 24 cm (30*19*24)	0,24		1,07
4	Estuque de gesso 1 cm	0,01	0,25	0,04
		0,32		
	Rsi	0,13		2,82
	Rse	0,04		
			U =	0,34

Tabela IX.7 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico da zona de PTP da solução alternativa 2

DESCRIÇÃO: Zona de Pontes térmicas planas – 32 cm				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m²°C/W)
1	Cortiça Natural projectada em emulsão (2 cm)	0,02	0,068	0,29
2	Aglomerado Cortiça expandida 4 cm	0,04	0,04	1,00
3	Pilar ou viga de betão 25 cm	0,25	2,00	0,13
4	Estuque de gesso 1 cm	0,01	0,25	0,04
		0,32		
	Rsi	0,13		1,63
	Rse	0,04		
			U =	0,61

Tabela IX.8 - Cálculo do coeficiente de transmissão da laje em contacto com zona não aquecida (desvão não ventilado) da solução alternativa 2

DESCRIÇÃO: Cobertura em contacto com desvão não ventilado – 28 cm				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m²°C/W)
1	Aglomerado Cortiça expandida 6 cm	0,06	0,04	1,50
2	Laje de betão 20 cm	0,20	2,00	0,10
4	Estuque de gesso 1 cm	0,01	0,25	0,04
		0,27		
	Rsi	0,1		1,84
	Rse	0,1		
			U =	0,54

Solução 3

Tabela IX.9 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes exteriores da solução alternativa 3

DESCRIÇÃO: Parede exterior - 32 cm				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² °C/W)
1	Cortiça Natural projectada em emulsão (2 cm)	0,02	0,068	0,294
2	Isolamento à base de fibras de madeira 5 cm	0,05	0,038	1,32
3	Blocos de betão celular autoclavado 24 cm	0,24	0,16	1,50
4	Reboco de argamassa de cal 1 cm	0,01	0,8	0,01
		0,32		
	Rsi	0,13		3,29
	Rse	0,04		
			U =	0,30

Tabela IX.10 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico das paredes em contacto com zona não aquecida (despensa) da solução alternativa 3

DESCRIÇÃO: Parede Interior em contacto com zona não aquecida (despensa) – 32 cm				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² °C/W)
1	Cortiça Natural projectada em emulsão (2 cm)	0,02	0,068	0,294
2	Isolamento à base de fibras de madeira 5 cm	0,05	0,038	1,32
3	Blocos de betão celular autoclavado 24 cm	0,24	0,16	1,50
4	Reboco de argamassa de cal 1 cm	0,01	0,8	0,01
		0,32		
	Rsi	0,13		3,29
	Rse	0,13		
			U =	0,30

Tabela IX.11 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmico da zona de PTP da solução alternativa 3

DESCRIÇÃO: Zona de Pontes térmicas planas – 32 cm				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m²°C/W)
1	Cortiça Natural projectada em emulsão (2 cm)	0,02	0,068	0,294
2	Isolamento à base de fibras de madeira 4 cm	0,04	0,038	1,1
3	Pilar ou viga de betão 25 cm	0,25	2,00	0,13
4	Reboco de argamassa de cal 1 cm	0,01	0,8	0,01
		0,32		
	Rsi	0,13		1,65
	Rse	0,04		
			U =	0,60

Tabela IX.12 - Cálculo do coeficiente de transmissão da laje em contacto com zona não aquecida (desvão não ventilado) da solução alternativa 3

DESCRIÇÃO: Cobertura em contacto com desvão não ventilado – 27 cm				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.°C)	R (m²°C/W)
1	Isolamento à base de fibras de madeira 6 cm	0,06	0,038	1,6
2	Laje de betão 20 cm	0,20	2,00	0,10
3	Reboco de argamassa de cal 1 cm	0,01	0,8	0,01
		0,27		
	Rsi	0,1		1,75
	Rse	0,1		
			U =	0,53

Anexo X - Cálculo dos custos de investimento para as soluções estudadas

Notas:

- Os custos de construção foram obtidos com a utilização do software de geração de preços Cype, através de preços obtidos nas empresas ou nos respectivos sites
- Nas zonas de ponte térmica plana (pilar e viga), bem como na cobertura (laje) não foi contabilizado o valor do betão armado, pois não existe variação em relação a todas as soluções.

Solução existente

Tabela X.1 – Cálculo do custo de investimento para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução existente

Parede Exterior/Parede em contacto com zona despenda	Preço €/unidade	Preço €/m2	Mão-de-obra €/m2
Reboco argamassa de cimento 2cm		9,34	5,90
Tijolo cerâmico 15 cm - Preceram (30*20*15)	0,239	7,03	6,56
Argamassa de assentamento (cimento) M-5 traço 1:6			
Isolamento XPS Wallmate CW 30 mm		7,45	2,67
Tijolo cerâmico 11 cm - Preceram (30*20*11)	0,182	4,13	4,53
Argamassa de assentamento (cimento) M-5 traço 1:6			
Reboco argamassa de cimento 1 cm		4,66	4,77
Total		57,05	

Tabela X.2 - Cálculo do custo de investimento para a zona de PTP da solução existente

Zona de PTP (pilar e viga)	Preço €/unidade	Preço €/m2	Mão-de-obra €/m2
Reboco argamassa de cimento 2cm		9,34	5,90
Tijolo cerâmico 4 cm - Preceram (30*20*4)	0,119	2,65	3,59
Argamassa de assentamento (cimento) M-5 traço 1:6			
Isolamento XPS Wallmate IB 30 mm		7,45	2,67
Reboco argamassa de cimento 1 cm		4,66	4,77
Total		41,03	

Tabela X.3 - Cálculo do custo de investimento para a cobertura em contacto com zona não aquecida da solução existente

Cobertura (laje em contacto com desvão n/ventilado)	Preço €/unidade	Preço €/m2	Mão-de-obra €/m2
Isolamento XPS Roofmate SL-A - 50 mm		12,42	2,67
Reboco argamassa de cimento 2cm		4,66	4,77
Total		24,52	

Solução 1

Tabela X.4 - Cálculo do custo de investimento para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução 1

Parede Exterior/Parede em contacto com zona despesa	Preço €/unidade	Preço €/m2	Mão-de-obra €/m2
Reboco argamassa de cal 2cm		6,30	5,46
Tijolo solo-cimento EnviroMasonry (44*21,5*10)	0,504	6,90	6,56
Argamassa de assentamento (cimento) M-5 traço 1:6			
Isolamento à base de Cânhamo - Thermo-Hemp 6 cm		11,65	2,23
Tijolo solo-cimento EnviroMasonry (44*21,5*10)	0,504	6,90	6,56
Argamassa de assentamento (cimento) M-5 traço 1:6			
Placa de gesso laminado 1,5 cm		5,77	4,46
Total		62,79	

Tabela X.5 - Cálculo do custo de investimento para a zona de PTP da solução 1

Zona de PTP (pilar e viga)	Preço €/unidade	Preço €/m2	Mão-de-obra €/m2
Reboco argamassa de cal 2cm		6,30	5,46
Isolamento à base de Cânhamo - Thermo-Hemp 4 cm		7,77	2,23
Placa de gesso laminado 1,5 cm		5,77	4,46
Total		31,99	

Tabela X.6 - Cálculo do custo de investimento para a cobertura em contacto com zona não aquecida da solução 1

Cobertura (laje em contacto com desvão n/ventilado)	Preço €/unidade	Preço €/m2	Mão-de-obra €/m2
Isolamento à base de Cânhamo - Thermo-Hemp 6 cm		11,65	2,23
Placa de gesso laminado 1,5 cm		5,77	4,46
Total		24,11	

Solução 2

Tabela X.7 - Cálculo do custo de investimento para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução 2

Parede Exterior/Parede em contacto com zona despesa	Preço €/unidade	Preço €/m2	Mão-de-obra €/m2
Cortiça Natural projectada em emulsão (2 cm)		10,52	3,51
Aglomerado Cortiça expandida 5 cm		9,59	2,23
Tijolo Térmico Preceram 24 cm (30*19*24)	0,687	14,68	7,51
Argamassa de assentamento (cimento) M-5 traço 1:6			
Estuque de gesso 1 cm		5,26	6,45
Total		59,75	

Tabela X.8 - Cálculo do custo de investimento para a zona de PTP da solução 2

Zona de PTP (pilar e viga)	Preço €/unidade	Preço €/m2	Mão-de-obra €/m2
Cortiça Natural projectada em emulsão (2 cm)		10,52	3,51
Aglomerado de Cortiça expandida 4 cm		7,67	2,23
Estuque de gesso 1 cm		5,26	6,45
Total		35,64	

Tabela X.9 - Cálculo do custo de investimento para a cobertura em contacto com zona não aquecida da solução 2

Cobertura	Preço €/unidade	Preço €/m2	Mão-de-obra €/m2
Aglomerado Cortiça expandida 6 cm		11,50	2,23
Estuque de gesso 1 cm		5,26	6,45
Total		25,44	

Solução 3

Tabela X.10 - Cálculo do custo de investimento para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução 3

Parede Exterior/Parede em contacto com zona despesa	Preço €/unidade	Preço €/m2	Mão-de-obra €/m2
Cortiça Natural projectada em emulsão (2 cm)		10,52	3,51
Isolamento à base de fibras de madeira 5 cm		6,36	2,23
Bloco de betão celular autoclavado 24 cm	4,69	33,3	6,03
Cimento cola			
Reboco de argamassa de cal 1 cm		3,15	4,35
Total		69,48	

Tabela X.11 - Cálculo do custo de investimento para a zona de PTP da solução 3

Zona de PTP (pilar e viga)	Preço €/unidade	Preço €/m2	Mão-de-obra €/m2
Cortiça Natural projectada em emulsão (2 cm)		10,52	3,51
Isolamento à base de fibras de madeira 4 cm		5,09	2,23
Reboco de argamassa de cal 1 cm		3,15	4,35
Total		28,85	

Tabela X.12 - Cálculo do custo de investimento para a cobertura em contacto com zona não aquecida da solução 3

Cobertura	Preço €/unidade	Preço €/m2	Mão-de-obra €/m2
Isolamento à base de fibras de madeira 4 cm		7,64	2,23
Reboco de argamassa de cal 1 cm		3,15	4,35
Total		17,37	

Anexo XI - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO₂ das soluções em estudo

Solução existente

Tabela XI.1 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO₂ para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução existente

Parede Exterior/Parede em contacto com zona não aquecida	Kg/m2	Energia Incorporada MJ/Kg	Energia Incorporada MJ/m2	Emissões Kg CO2/Kg	Emissões Kg CO2/m2
Reboco argamassa de cimento 2cm	30,00	1,09	32,70	0,14	4,20
Tijolo cerâmico furado 15 cm	101,70	3,00	305,10	0,22	22,37
Argamassa de assentamento (cimento) M-5 traço 1:6	23,94	1,09	26,09	0,14	3,26
Isolamento XPS Wallmate 30 mm	1,20	86,40	103,68	2,70	3,24
Tijolo cerâmico furado 11 cm	77,10	3,00	231,30	0,22	16,96
Argamassa de assentamento (cimento) M-5 traço 1:6	17,96	1,09	19,58	0,14	2,51
Reboco de argamassa de cimento 1 cm	15,00	1,09	16,35	0,14	2,10
Total			734,8		54,65

Tabela XI.2 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO₂ para a zona de PTP da solução existente

Zona de PTP (pilar e viga)	Kg/m2	Energia Incorporada MJ/Kg	Energia Incorporada MJ/m2	Emissões Kg CO2/Kg	Emissões Kg CO2/m2
Reboco argamassa de cimento 2cm	30,00	1,09	32,70	0,14	4,20
Tijolo cerâmico 4 cm	28,60	3,00	85,80	0,22	6,29
Argamassa de assentamento (cimento) M-5 traço 1:6	8,39	1,09	9,15	0,14	1,17
Isolamento XPS Wallmate IB 30 mm	1,20	86,40	103,68	2,70	3,24
Reboco de argamassa de cimento 1 cm	15,00	1,09	16,35	0,14	2,10
Total			247,68		17,01

Tabela XI.3 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO₂ para a zona de cobertura da solução existente

Cobertura	Kg/m2	Energia Incorporada MJ/Kg	Energia Incorporada MJ/m2	Emissões Kg CO2/Kg	Emissões Kg CO2/m2
Isolamento XPS Roofmate SL-A - 50 mm	1,50	86,40	129,60	2,70	4,05
Reboco de argamassa de cimento 1 cm	15,00	1,09	16,35	0,14	2,10
Total			145,95		6,15

Solução 1

Tabela XI.4 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO₂ para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução 1

Parede Exterior/Parede em contacto com zona não aquecida	Kg/m2	Energia Incorporada MJ/Kg	Energia Incorporada MJ/m2	Emissões Kg CO2/Kg	Emissões Kg CO2/m2
Reboco de argamassa de cal 2 cm	32,00	0,57	18,24	0,12	3,84
Tijolo solo-cimento EnviroMasonry (44*21,5*10)	213,32	0,85	181,32	0,09	19,20
Argamassa de assentamento (cimento) M-5 traço 1:6	22,34	1,09	24,35	0,14	3,13
Isolamento à base de Cânhamo - Thermo-Hemp 6 cm	2,16	4,32	9,33	0,19	0,41
Tijolo solo-cimento EnviroMasonry (44*21,5*10)	213,32	0,85	181,32	0,09	19,20
Argamassa de assentamento (cimento) M-5 traço 1:6	22,34	1,09	24,35	0,14	3,13
Placa de gesso laminado 1,5 cm	10,80	6,75	72,90	0,38	4,10
Total			511,82		53,01

Tabela XI.5 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO₂ para a zona de PTP da solução 1

Zona de PTP (pilar e viga)	Kg/m2	Energia Incorporada MJ/Kg	Energia Incorporada MJ/m2	Emissões Kg CO2/Kg	Emissões Kg CO2/m2
Reboco de argamassa de cal 2 cm	32	0,57	18,2	0,12	3,84
Isolamento à base de Cânhamo - Thermo-Hemp 4 cm	1,44	4,32	6,22	0,19	0,27
Placa de gesso laminado 1,5 cm	10,8	6,75	72,9	0,38	4,10
Total			97,36		8,22

Tabela XI.6 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO₂ para a zona de cobertura da solução 1

Cobertura em contacto com desvão não ventilado	Kg/m2	Energia Incorporada MJ/Kg	Energia Incorporada MJ/m2	Emissões Kg CO2/Kg	Emissões Kg CO2/m2
Isolamento à base de Cânhamo - Thermo-Hemp 6 cm	1,80	4,32	7,78	0,19	0,34
Placa de gesso laminado 1,5 cm (tecto suspenso)	10,80	6,75	72,90	0,38	4,10
Total			80,68		4,45

Solução 2

Tabela XI.7 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO₂ para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução 2

Parede Exterior	Kg/m2	Energia Incorporada MJ/Kg	Energia Incorporada MJ/m2	Emissões Kg CO2/Kg	Emissões Kg CO2/m2
Cortiça Natural projectada em emulsão (2 cm)	1,60	0,50	0,80	0,10	0,16
Aglomerado Cortiça expandida 5 cm	5,75	4,00	23,00	0,19	1,09
Tijolo Térmico Preceram 24 cm (30*19*24)	211,80	3,00	635,40	0,22	46,60
Argamassa de assentamento (cimento) M-5 traço 1:6	35,90	1,09	39,13	0,14	5,03
Estuque de gesso 1 cm	11,80	1,08	12,74	0,12	1,42
Total			711,08		54,29

Tabela XI.8 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO₂ para a zona de PTP da solução 2

Zona de PTP (pilar e viga)	Kg/m2	Energia Incorporada MJ/Kg	Energia Incorporada MJ/m2	Emissões Kg CO2/Kg	Emissões Kg CO2/m2
Cortiça Natural projectada em emulsão (2 cm)	1,60	0,5	0,8	0,10	0,16
Aglomerado de Cortiça expandida 4 cm	4,60	4,00	18,40	0,19	0,87
Estuque de gesso 1 cm	11,80	1,08	12,74	0,12	1,42
Total			31,94		2,45

Tabela XI.9 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO₂ para a zona de cobertura da solução 2

Cobertura	Kg/m2	Energia Incorporada MJ/Kg	Energia Incorporada MJ/m2	Emissões Kg CO2/Kg	Emissões Kg CO2/m2
Aglomerado Cortiça expandida 6 cm	6,30	4,00	25,20	0,19	1,20
Estuque de gesso 1 cm	11,80	1,08	12,74	0,12	1,42
Total			37,94		2,61

Solução 3

Tabela XI.10 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO₂ para as paredes exteriores/paredes em contacto com zona não aquecida da solução 3

Parede Exterior/Parede em contacto com zona não aquecida	Kg/m2	Energia Incorporada MJ/Kg	Energia Incorporada MJ/m2	Emissões Kg CO2/Kg	Emissões Kg CO2/m2
Cortiça natural projectada em emulsão 2 cm	1,6	0,50	0,80	0,10	0,16
Isolamento à base de fibras de madeira 5 cm	3,00	20,00	60,00	0,98	2,94
Blocos de betão celular autoclavado 24 cm	151,44	3,30	499,75	0,28	42,40
Cimento cola	1,90	1,09	2,07	0,14	0,27
Reboco de argamassa de cal (1 cm)	16,00	0,57	9,12	0,12	1,92
Total			571,74		47,69

Tabela XI.11 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO₂ para a zona de PTP da solução 3

Zona de PTP (pilar e viga)	Kg/m2	Energia Incorporada MJ/Kg	Energia Incorporada MJ/m2	Emissões Kg CO2/Kg	Emissões Kg CO2/m2
Cortiça natural projectada em emulsão 2 cm	1,6	0,50	0,80	0,10	0,16
Isolamento à base de fibras de madeira 4 cm	2,00	20,00	40,00	0,98	1,96
Reboco de argamassa de cal (1 cm)	16,00	0,57	9,12	0,12	1,92
Total			49,92		4,04

Tabela XI.12 - Cálculo dos valores de energia incorporada e de emissões de CO₂ para a zona de cobertura da solução 3

Cobertura em contacto com desvão não ventilado	Kg/m2	Energia Incorporada MJ/Kg	Energia Incorporada MJ/m2	Emissões Kg CO2/Kg	Emissões Kg CO2/m2
Isolamento à base de fibras de madeira 6 cm	3,00	20,00	60,00	0,98	2,94
Reboco de argamassa de cal (1 cm)	16,00	0,57	9,12	0,12	1,92
Total			69,12		4,86

Anexo XII - Cálculo dos custos para os envidraçados (caixilharias + vidros) das soluções estudadas e determinação de valores de energia incorporada e emissão de CO₂ em ambas as soluções

Caixilharias

Tabela XII.1 – Cálculo dos custos para as caixilharias

Janelas - Dimensões		Preço - alumínio (€)	Kg/unidade	Preço - Madeira (€)	kg/unidade
Largura	Altura				
1,00	1,20	205,95	11,1	311,37	18,2
1,30	1,20	222,25	12,67	396,56	23,7
0,70	1,20	187,92	9,51	228,07	12,8
0,46	0,46	142,21	4,27	74,35	3,3
0,46	0,46	142,21	4,27	74,35	3,3
1,30	1,20	222,25	12,67	396,56	23,7
1,30	1,20	222,25	12,67	396,56	23,7
0,70	1,20	187,92	9,51	228,07	12,8
1,20	2,00	252,17	16,3	594,63	36,5
0,70	1,20	187,92	9,51	228,07	12,8
1,50	2,00	266,62	17,9	732,64	45,6
1,50	2,00	266,62	17,9	732,64	45,6
Total		2506,29	138,28	4393,87	262

Vidros

Tabela XII.2 – Cálculo dos custos para os vidros (solução existente)

Solução Existente	Preço (€/m ²)	Mão-de-obra (€/m ²)
Vidro duplo 14 mm de caixa-de-ar (4+14+4)	22,2	7,86
Total	30,06	

Tabela XII.3 - Cálculo dos custos para os vidros (soluções alternativas)

Soluções Alternativas	Preço (€/m ²)	Mão de obra (€/m ²)
Vidro duplo - 16 mm gás Argon (4+16+4)	27,41	7,86
Total	35,27	

Energia incorporada e emissões de CO₂

Tabela XII.4 – Valores de energia incorporada e emissões de CO₂ para os dois tipos de materiais usados nas caixilharias

	Energia Incorporada (MJ/Kg)	Emissões de CO2 (Kg CO2/kg)
Alumínio anodizado	226	11,7
Madeira	8,5	0,46

Tabela XII.5 – Cálculo dos valores de energia incorporada e emissões de CO₂ para as duas soluções (existente e alternativas)

	Energia Incorporada total (MJ)	Emissões totais de CO2 (Kg CO2)
Solução existente	31251,28	1617,88
Soluções Alternativas	2227,00	120,52